

基于效能-成本的智能变电站二次设备 运维策略优化

王玉磊¹, 应黎明¹, 陶海洋², 杨 磊¹

(1. 武汉大学 电气工程学院, 湖北 武汉 430072; 2. 国网嘉峪关、酒泉供电公司, 甘肃 酒泉 735000)

摘要: 提出基于效能-成本及灵敏度分析的二次设备优化运维模型。建立二次设备综合效能评估指标及计算模型, 并对各效能影响因子的灵敏度进行分析。对二次设备的全生命周期成本模型进行修正, 并进行灵敏度分析, 确定高灵敏度成本指标。根据效能评估结果和成本容忍度, 提出二次设备基于效能-成本的运维优化决策判据。通过测控装置算例分析验证了效能评估模型及灵敏度分析模型的可行性, 并对优化运维策略进行估算, 设备的经济性明显提高。

关键词: 二次设备; 效能评估; 全生命周期成本; 运维管理; 灵敏度分析; 变电站

中图分类号: TM 732

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2016.06.027

0 引言

智能变电站对二次设备的全生命周期管理提出了新的要求, 综合考虑二次设备的效能状态以及全生命周期成本 LCC (Life Cycle Cost), 实现二次设备的高效经济运行符合智能变电站的理念。二次设备运维阶段的成本在 LCC 中的比例明显高于一次设备, 因此优化现有的二次设备运维模式, 开展基于设备效能-成本的运维策略优化有重要意义。二次设备效能是预期设备满足特定任务目标的程度的度量, 是设备可用性、可信性和固有能 ADC (Availability, Dependence, Capacity) 的综合反映^[1]。目前 LCC 研究主要针对一次设备^[2-3], 二次设备 LCC 研究较少。考虑到二次设备的成本构成更加复杂, 本文建立二次设备运维成本的归集模型, 使成本控制更有针对性。

文献[4]将费效分析应用于设备购置阶段, 建立了模糊费效分析模型, 但费用指标和效能指标全都模糊处理具有主观性, 未考虑不同类型指标的特殊性。文献[5]对配电设备进行了 LCC 分解以及多指标灵敏度分析, 建立了针对一次设备的综合评价指标体系, 具有一定的借鉴意义。文献[6]中提出了可靠性工作费用和冗余费用的概念, 在变电站二次系统中同样存在这两部分费用。文献[7]对故障录波装置进行了研究, 提出故障录波装置性能评价体系。此外, 针对电网安全和效益^[8-9]、经济性^[10]的评估指标评价体系也已有大量研究, 但始终没有深入至设备层级。

目前, 二次设备运维采用运行人员和检修人员分离作业模式, 运行人员和检修人员需分别至现场处理缺陷, 设备巡视无差异化, 造成设备维护成本上升、运维效率低下^[11]。因此, 传统二次设备运维方式

存在很大的优化空间。智能变电站二次设备检修可带电操作且存在安全冗余, 这为其检修带来很大便利, 二次设备运维策略可以更加灵活。由于二次设备具有种类多、数量大、层次和网络结构复杂等特点, 很多一次设备的管理评价方法并不适用于二次设备, 因此本文根据二次设备自身的特点, 建立应用于二次设备的效能-成本分析模型。对二次设备进行效能评估和运维阶段成本分解, 并在此基础上对设备效能和成本进行灵敏度分析, 寻找与二次设备效能和经济性紧密联系的关键指标, 并基于效能和成本的灵敏度分析优化运维策略。通过算例分析, 验证了效能评估模型和运维优化方法的可行性, 基于效能成本的决策判据可以更合理地指导运维。

1 二次设备效能评估

1.1 效能评估模型

效能评估方法在武器系统中已有相关的应用, 二次设备与现代信息化武器均为电子产品, 且二者工作都具有明确的任务项, 如具有单项功能的保护装置或 2 项功能的测控装置。对武器系统效能评估方法的扩展可适用于二次设备效能的评估。

ADC 模型是美国工业界武器系统效能咨询委员会 (WSEIAC) 提出的效能评估模型, 其表达式为:

$$E=ADC \quad (1)$$

其中, A 为可用度矩阵, $A=[a_1, a_2, \dots, a_N]$, $a_l (l=1, 2, \dots, N)$ 为设备初始时刻处于状态 l 的概率, N 为二次设备在投运后的状态数目, 例如二次设备存在故障状态及工作状态; D 为可信度矩阵, 矩阵元素 $d_{l,j}$ 为设备由初始状态 l 经历任务期间到任务结束时转移到状态 j 的概率; 若装置具有多项任务或功能, C 为一矩阵, 矩阵元素 $c_{l,k}$ 为系统处于状态 l 时完成第

k 项子任务的概率或完成任务量,此时的效能为一向量^[12-13]。

1.2 效能指标体系

设备的效能反映设备完成任务目标的能力,综合效能 E_s 除了包含反映设备工作性能的工作效能 E_{wor} 外,由于其具有投资性和服务性,还应包含设备的经济效益 E_{eco} 和社会效益 E_{soc} 。

$$E_s=f(E_{wor},E_{eco},E_{soc}) \tag{2}$$

1.2.1 工作效能指标

二次设备的工作效能指标通过设备的运行状态、运维信息以及设备固有参数的监测数据得到。由于设备功能的差异,指标分为公有指标和特有指标。

(1) 公有工作效能指标。

公有工作效能指标如图 1 所示。

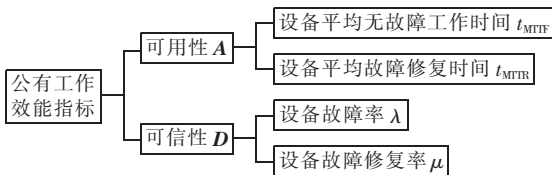


图 1 公有工作效能指标

Fig.1 Public work efficiency indexes

(2) 特有工作效能指标。

以保护、测控装置为例,建立特有工作效能指标,如图 2、3 所示。

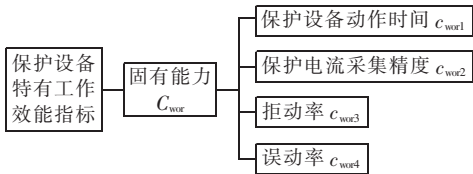


图 2 保护设备特有工作效能指标

Fig.2 Specific work efficiency indexes of protective equipment

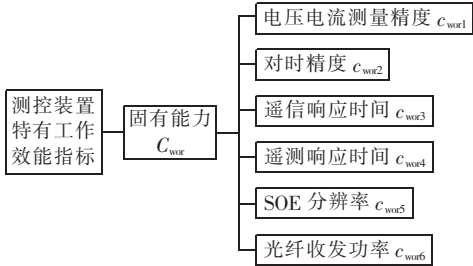


图 3 测控装置特有工作效能指标

Fig.3 Specific work efficiency indexes of measuring & control equipment

1.2.2 效益指标

效能评估中设备效益通过其实际所创造的价值体现,二次设备单体作为辅助设备没有确定收益,难以直接衡量投资效益,其效益与传统经济领域反映投资回报的效益是有所区别的。本文效益指标是对一、二次设备整体相互配合,综合表现出的供电能

力以及客观环境的反映,是变电站内设备综合性能的体现。因此以承载一、二次设备的变电站为单元建立效益指标,二次设备的效益即为变电站效益分摊至二次设备的部分。效能评估中对设备效益的关注点集中在设备运行效果的表现,设备投资在成本中体现。效能评估中的经济效益和社会效益指标如图 4、5 所示。

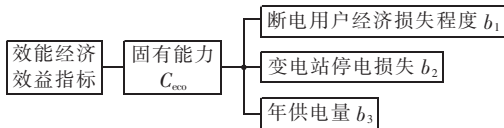


图 4 经济效益指标

Fig.4 Economic benefit indexes

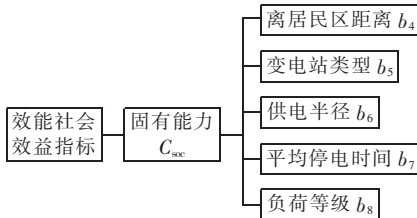


图 5 社会效益指标

Fig.5 Social benefit indexes

(1) 经济效益指标。

经济效益主要考虑设备承担电能传输任务大小以及可能造成用户其他经济损失等方面。

(2) 社会效益指标。

社会效益指标主要考虑变电站对居民以及电力企业信誉、环境^[14]等方面的影响。

根据效益指标及量化标准可计算得出评价对象所在变电站的效益量化值,即变电站效益指数 B ：

$$B=\sum_{i=1}^8b_i/80\times100 \tag{3}$$

二次设备的效益通过变电站的效益在一、二次设备之间分摊得到,变电站二次设备效益指数 B_s ：

$$B_s=B\times C_2/(C_1+C_2) \tag{4}$$

其中, C_1 为变电站一次设备初始投资; C_2 为变电站二次设备初始投资。

1.2.3 二次设备效能计算模型

$$E_s=A\cdot D\cdot\begin{bmatrix}w_{C1}C_{wor}+w_{C2}(C_{eco}+C_{soc})\\0\end{bmatrix} \tag{5}$$

$$C_{wor}=\sum w_{wor}c_{wor} \tag{6}$$

$$C_B=C_{soc}+C_{eco} \tag{7}$$

$$C_B=e^{\frac{B_s-11}{20}} \tag{8}$$

其中, w_{Ci} 为各固有能力的权重; w_{wor} 为特有工作效能各项指标权重,需要产品设计人员和运行专家根据指标对设备的影响程度进行判定,最终根据层次分析法确定。

2 二次设备 LCC 修正模型

二次设备的成本结构与一次设备有较大差异,二次设备的初始投资成本在 LCC 中的比例较小,而人力成本和故障惩罚成本占比较高。通过对二次设备的成本结构分析,本文将二次设备运维成本分为必要成本和意外成本。必要成本指进行巡视和检修等带来的无法避免的成本;意外成本指通过对设备效能等状态的监视从而可以避免的成本,例如设备故障造成的停电损失成本以及频繁进行设备巡视所产生的冗余成本。优化二次设备运维成本需要在保证设备可靠性的前提下降低意外成本。

按成本来源,二次设备运维成本包含运行成本、检修成本、故障惩罚成本三部分。由于二次设备的生命周期很长,需要对二次设备的运维成本进行成本时间价值和通货膨胀影响因素的修正,智能变电站二次设备运维期成本的修正数学模型如式(9)所示。

$$C_{LCC} = \sum_{j=1}^n C_j \left(\frac{1+r}{1+I} \right)^j + n(8760 - \rho t_{MTR}) P_{loss} b + \sum_{j=1}^n \left[\rho C_R t_{MTR} \left(\frac{1+r}{1+I} \right)^j + \rho a P T_{loss} \left(\frac{1+r}{1+I} \right)^j \right] \quad (9)$$

其中, n 为二次设备的运行年限; C_j 为第 j 年二次设备运行成本和检修成本之和; ρ 为二次设备故障惩罚系数, $\rho=f(\lambda)$ 为 λ 的强正相关函数; λ 为平均故障率; C_R 为平均修复成本; t_{MTR} 为设备的平均故障修复时间; a 为单位电量电力公司的平均停电损失,包括减少供电时损失的利润、电力公司平均停每度电给用户的赔偿损失; P 为年平均停电功率; T_{loss} 为年平均中断供电时间; P_{loss} 为设备的能耗功率; b 为电差价; r 为通货系数; I 为折现率。

3 效能-成本多因素灵敏度分析

效能灵敏度分析方法可以使决策者明确不同因素对效能评价的影响,从而提高决策的准确性^[15-16]。通过评估设备的效能状态灵活地制定二次设备的运维计划,加强对关键指标的监视,弱化对效能灵敏度较小指标的成本投入,达到运维经济性。

3.1 效能灵敏度分析

基于前文提出的二次设备效能评估指标体系,建立二次设备的 ADC 效能评估模型。二次设备作为典型的电子产品,其平均无故障时间 t_{MTTF} 和平均故障修复时间 t_{MTR} 满足指数分布规律。二次设备的可用性可根据式(10)、(11)确定,如式(12)所示。

$$t_{MTTF} = \int_0^{\infty} e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} dt \quad (10)$$

$$t_{MTR} = \int_0^{\infty} e^{-\int_0^t \mu(t) dt} dt \quad (11)$$

$$A = \begin{bmatrix} \int_0^{\infty} e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} dt \\ \int_0^{\infty} e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} dt + \int_0^{\infty} e^{-\int_0^t \mu(t) dt} dt \\ \int_0^{\infty} e^{-\int_0^t \mu(t) dt} dt \\ \int_0^{\infty} e^{-\int_0^t \mu(t) dt} dt + \int_0^{\infty} e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} dt \end{bmatrix}^T \quad (12)$$

其中, λ 为设备的平均故障率; μ 为设备的平均故障修复率。

二次设备在稳定运行阶段故障率较为恒定,故障修复率与电力公司的反措处理流程相关,电网企业反事故措施以及设备巡视检修都有严格的规范,其流程固定,故可对效能评估模型进行简化处理,如式(13)、(14)所示。二次设备效能可根据式(5)计算,各参数见式(13)~(15)。

$$A = \begin{bmatrix} \frac{1/\lambda}{1/\lambda+1/\mu} & \frac{1/\mu}{1/\lambda+1/\mu} \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$D = \begin{bmatrix} \frac{\mu}{\lambda+\mu} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)T} & \frac{\lambda}{\lambda+\mu} (1-e^{-(\lambda+\mu)T}) \\ \frac{\mu}{\lambda+\mu} (1-e^{-(\lambda+\mu)T}) & \frac{\lambda}{\lambda+\mu} + \frac{\mu}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)T} \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$C = \begin{bmatrix} w_{C1} C_{wor} + w_{C2} (C_{eco} + C_{seo}) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

其中, T 为评价周期。根据式(5)、(13)~(15)进行效能灵敏度分析,分析装置的平均故障率、故障修复率、固有能力指标效用值与效能的灵敏度关系,如图6~8所示。图8中不同数值代表不同的权重系数。由图分析可知:

① 设备的效能值随着故障率以负指数形式变化,当设备的故障率 $\lambda < 0.1$ 时, λ 与效能 E 的关系近似成线性关系且灵敏度较高,因此运维中故障率需要维持在较低水平;

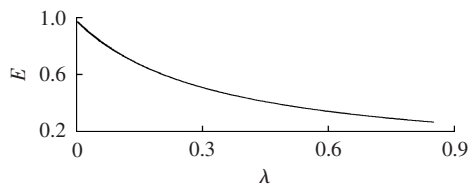


图 6 效能-故障率灵敏度曲线

Fig.6 Curve of efficiency vs. failure rate

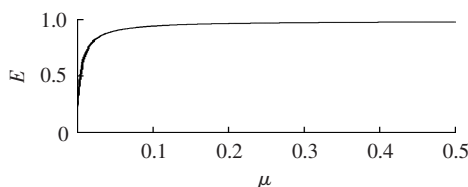


图 7 效能-故障修复率灵敏度曲线

Fig.7 Curve of efficiency vs. failure repair rate

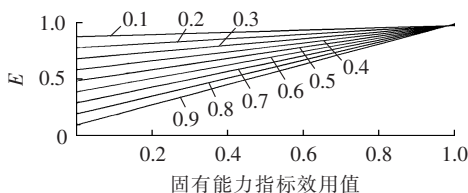


图 8 效能-固有能力指标灵敏度曲线

Fig.8 Curve of efficiency vs. index utility rate

② 设备效能随着故障修复率的减小按指数规律下降,当装置的故障修复率 $\mu > 0.2$ 时, μ 与 E 近似成线性关系,且装置的故障修复率对效能的影响较小,因此故障修复时间无需过短;

③ 二次设备的固有能力指标与效能的灵敏度曲线呈线性关系,并且指标权重较小时其对装置效能的影响较小,因此,优化运维方式时,可以简化小权重指标巡视内容,提高运维效率。

3.2 成本灵敏度分析

二次设备运维成本影响因素主要有巡视成本、检修成本、设备故障率、设备平均修复时间等。进行二次设备运维期的经济性优化需要以二次设备的平均全生命周期成本 ALCC (Average Life Cycle Cost) 为目标函数,对成本按影响关系不同将式(9)处理为:

$$C_{ALCC} = \left(\bar{C}_j + \rho C_R \frac{1}{\mu} + a P T_{loss} \right) \frac{(1+I)^n - (1+r)^n}{(I-r)(1+I)^n} + \left(8760 - \rho \frac{1}{\mu} \right) P_{loss} b \quad (16)$$

根据式(16)分别对各 LCC 影响因素求偏导,如式(17)~(21)所示。由于社会的通货膨胀率以及利息因素是供电企业无法控制的,因此不对上述 2 个因素进行分析。

$$\frac{\partial C_{ALCC}}{\partial \bar{C}_j} = 1 \quad (17)$$

$$\frac{\partial C_{ALCC}}{\partial \rho} = C_R \frac{1}{\mu} \frac{(1+I)^n - (1+r)^n}{(I-r)(1+I)^n} - \frac{1}{\mu} P_{loss} b \quad (18)$$

$$\frac{\partial C_{ALCC}}{\partial C_R} = \frac{\rho}{\mu} \frac{(1+I)^n - (1+r)^n}{(I-r)(1+I)^n} \quad (19)$$

$$\frac{\partial C_{ALCC}}{\partial \mu} = \frac{1}{\mu^2} \left[\frac{\rho}{n} P_{loss} b - \rho C_R \frac{(1+I)^n - (1+r)^n}{(I-r)(1+I)^n} \right] \quad (20)$$

$$\frac{\partial C_{ALCC}}{\partial T_{loss}} = a P \frac{(1+I)^n - (1+r)^n}{(I-r)(1+I)^n} \quad (21)$$

根据建立的灵敏度计算模型,代入运维中的数据就可分析各影响因素对 ALCC 的影响。ALCC 成本关于设备平均修复成本以及停电时间的灵敏关系分别如式(19)、(21)所示,由于运维优化是以设备的高效运行为前提的,故两者优化前后对 ALCC 的影响较小。

关于故障惩罚系数与故障修复率的灵敏因子与 ALCC 的相关关系需要根据设备的运行状态确定,随着运行参数的变化,其值可正可负。由于 ρ 与 λ

为强正相关关系,且 λ 也为效能灵敏因子,为便于进行效能成本的关联分析,分析中以故障率代替惩罚系数。根据式中设备的参数分析可知,当满足情况①:

$$P_{loss} b < C_R \frac{(1+I)^n - (1+r)^n}{(I-r)(1+I)^n} \quad (22)$$

ALCC 与设备故障率呈正相关关系,与设备故障修复率呈负相关关系。二次设备产生故障时,二次设备故障率的提高使设备的成本升高;二次设备的修复率越高,有助于降低设备运维成本,这与实际的运维现状是相符合的。当满足情况②:

$$P_{loss} b > C_R \frac{(1+I)^n - (1+r)^n}{(I-r)(1+I)^n} \quad (23)$$

ALCC 与设备故障率呈负相关关系,与设备故障修复率呈正相关关系,此种情况在实际变电站运维过程中较少发生。其变化关系如图 9 所示。

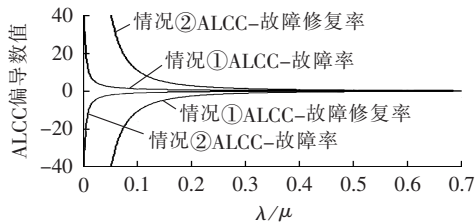


图 9 ALCC 对故障率和故障修复率灵敏度曲线

Fig.9 Sensitivity of ALCC to failure rate and failure repair rate

当不等式(22)两侧计算结果差距不大时,式(18)、(20)趋近于 0,其对 ALCC 的灵敏度影响很小,可忽略不计。当不等式(22)两侧的计算结果差距较大时,不管是正相关关系还是负相关关系,式(18)、(20)中,总有一个的灵敏度很高,另外一个趋近于 0。此时对 ALCC 灵敏度较高的影响因子需要在运维中重点关注,根据对结果的容忍度不同采用量身定制的运维策略。

年平均投入成本关于设备巡视及检修成本的灵敏系数为 1,远高于其他各项成本的灵敏系数,因此控制运行和检修成本是进行运维优化的关键。成本-效能灵敏度关联分析图如图 10 所示。

综合对设备效能以及成本的灵敏度分析结果,提出智能变电站运维优化的决策方法。给出如下规定: E_{tol1} 为效能第 1 容忍阈值; E_{tol2} 为效能第 2 容忍阈值; C_{spe} 为设备检修成本预估值; C_{stol} 为设备检修成本容忍度; C_{LCC} 为评价对象的 LCC; C_{LCCtol} 为二次设备 LCC 容忍度。运维优化遵从如下优化判据。

① $E_S > E_{tol1}$ 。巡视建议:调整为每周 1~3 次,月巡由原来的每月 3 次降为 1 次;巡视内容简化,重点关注电源模块、硬盘等关键效能指标。检修建议:无需进行检修,根据灵敏度分析结果,故障修复率并非

表 4 二次设备巡视成本统计表
Table 4 Statistics of secondary equipment inspection cost

巡视成本参数	数值
累计节约次数	3 548 次
节约人工小时	28 384 h
人工费率	20 元/(人·h)
台班费率	100 元/次
合计节约人工费	56.768 万元
合计节约机械台班费	21.288 万元
合计节约总费用	76.056 万元

表 5 二次设备定检成本统计表
Table 5 Statistics of secondary equipment scheduled check cost

定检计划优化	单间隔节约费用	站级节约总费用
3 a 部检	0.6	6
9 a 部检	0.9	6
合计	1.2	12

表 6 运维节约费用统计表
Table 6 Statistics of operation-maintenance cost saving

运维项目	生命周期成本	年平均节约成本	变电站生命周期成本
巡视	78.056	6.504 6	234.168
定检	12.000	1.000 0	36.000
消缺	50.000	4.166 6	150.000
合计	140.056	11.671 2	420.168

5 结论

利用智能变电站二次设备的监测信息对二次设备进行效能评估,提出二次设备效能评估指标体系。提出基于效能-成本灵敏度分析的运维优化模型,对二次设备效能评估和成本容忍度的计算,给出运维优化判据。不同运行状态的设备采用不同的运维方式,真正实现差异化运维。算例分析验证了效能成本模型的可行性,通过对优化后的运维方式进行估计分析,可以有效提高变电站二次设备的运维水平。

参考文献:

[1] 张杰,唐宏,苏凯,等. 效能评估方法研究[M]. 北京:国防工业出版社,2009.

[2] KUTLEV K,OLOVSSON H E,ANDERSSON U,et al. Decision making process for cost effective and reliable distribution substation solutions[R]. Vienna,Austria:CIRED,2007.

[3] BROWN R E,TAYLOR T M. Modeling the impact of substations on distribution reliability[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1999,14(1):349-354.

[4] 赖佳栋,杨秀苔,熊小伏,等. 基于费用效能分析的电气设备购置管理新方法[J]. 科技管理研究,2008,28(9):188-190.

LAI Jiadong,YANG Xiutai,XIONG Xiaofu,et al. A new method for electrical equipment purchase decision based on cost-effectiveness analysis[J]. Science and Technology Management Research,2008,28(9):188-190.

[5] 郑云霞. 基于费效分析的配电设备寿命周期管理研究[D]. 北京:华北电力大学,2011.

ZHENG Yunxia. Research of the life cycle cost management for electrical distribution equipment based on cost-effectiveness analysis[D]. Beijing:North China Electric Power University,2011.

[6] 黎放,费奇,王威. 武器装备可靠性费用研究[J]. 系统工程与电子技术,2005,27(7):1253-1256.

LI Fang,FEI Qi,WANG Wei. Study on reliability cost of weapons and military equipment[J]. Systems Engineering and Electronics,2005,27(7):1253-1256.

[7] 项灿芳,艾淑云,张晓莉,等. 电力系统故障录波装置性能评价体系的建立[J]. 电网技术,2009,33(4):94-98.

XIANG Canfang,AI Shuyun,ZHANG Xiaoli,et al. Establishment of performance evaluation system for power system fault recorders[J]. Power System Technology,2009,33(4):94-98.

[8] 穆永铮,鲁宗相,乔颖,等. 基于多算子层次分析模糊评价的电网安全与效益综合评价指标体系[J]. 电网技术,2015,39(1):23-28.

MU Yongzheng,LU Zongxiang,QIAO Ying,et al. A comprehensive evaluation index system of power grid security and benefit based on multi-operator fuzzy hierarchy evaluation method [J]. Power System Technology,2015,39(1):23-28.

[9] 姜小静,苏海锋,梁志瑞. 计及风险成本的配电网变电站规划方法[J]. 电力自动化设备,2014,34(6):141-146.

JIANG Xiaojing,SU Haifeng,LIANG Zhirui. Distribution substation planning considering risk cost[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(6):141-146.

[10] 杨柳,吴鸿亮,门钺. 南方电网节能与经济运行评价方法[J]. 电力系统自动化,2014,38(17):31-38.

YANG Liu,WU Hongliang,MEN Kun. An energy saving and economy operation evaluation method for China Southern Power Grid [J]. Automation of Electric Power Systems,2014,38(17):31-38.

[11] 李喜贵,雷红才. 变电运维一体化技术(二次设备及公用设备运维)[M]. 北京:中国电力出版社,2014.

[12] LUO C X,HAN J T. Analysis and evaluation of national defense system effectiveness-based on ADC model development [C]//2012 International Conference on Management Science and Engineering(ICMSE). Xiamen,China:IEEE,2012:282-288.

[13] GUO J,LI T W,LI C X,et al. Construction of ship borne navigation equipment's comprehensive effectiveness evaluation index system based on improved ADC model[C]//2014 IEEE Chinese Guidance,Navigation and Control Conference. Yantai, China:IEEE,2014:822-826.

[14] 田书欣,程浩忠,常浩,等. 特高压电网社会效益分析及评价方法[J]. 电力自动化设备,2015,35(2):145-153.

TIAN Shuxin,CHENG Haozhong,CHANG Hao,et al. Analysis and evaluation of social benefit from UHV power grid[J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(2):145-153.

[15] 杨冬,周勤勇,刘玉田. 基于灵敏度分析的限流方案优化决策方法[J]. 电力自动化设备,2015,35(5):111-118.

YANG Dong,ZHOU Qinyong,LIU Yutian. Short circuit current limiting strategy optimization based on sensitivity analysis [J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(5):111-118.

[16] 郑华,谢莉,张粒子. 基于支持矩阵机技术的电价灵敏度分析模型[J]. 中国电机工程学报,2006,26(11):134-138.

ZHENG Hua,XIE Li,ZHANG Lizi. Sensitivity analysis of electricity price based on support vector machine [J]. Proceedings of the CSEE,2006,26(11):134-138.

作者简介:

王玉磊(1991—),男,山东潍坊人,硕士研究生,主要研究方向为输变电设备状态评估、综合评价(E-mail:wfwyl243@126.com);



王玉磊

应黎明(1965—),男,湖北武汉人,教授,博士研究生导师,博士,研究方向为电力市场、电力设备有源噪声控制及电力设备状态监测与评估(E-mail:LMYing@whu.edu.cn);

陶海洋(1991—),男,甘肃酒泉人,工程师,主要研究方向为电力系统设备计量、变电设备运维检修(E-mail:690930408@qq.com)。

Operation-maintenance strategy optimization based on efficiency-cost sensitivity analysis for secondary equipment of intelligent substation

WANG Yulei¹,YING Liming¹,TAO Haiyang²,YANG Lei¹

(1. School of Electrical Engineering,Wuhan University,Wuhan 430072,China;

2. State Grid Jiayuguan,Jiuquan Power Company,Jiuquan 735000,China)

Abstract: An optimal operation-maintenance model based on efficiency-cost sensitivity analysis is proposed for the secondary equipment. The comprehensive evaluation indexes of the secondary equipments are proposed,their calculation models established,and the sensitivities of their influencing factors analyzed. The LCC(Life Cycle Cost) model of secondary equipment is modified and the sensitivity analysis is carried out to determine the costs with high sensitivity. The criteria of operation-maintenance optimization based on efficiency evaluation and cost tolerance are proposed for the secondary equipments. Example analysis for the measuring & control equipment verifies the effectiveness of the proposed efficiency evaluation model and sensitivity analysis model. The economy of the optimized operation-maintenance strategy is estimated and obviously improved.

Key words: secondary equipment; efficiency evaluation; life cycle cost; operation and maintenance management; sensitivity analysis; electric substations