DOI:10.12158/j.2096-3203.2020.04.028

基于役龄回退分析的电力设备检修决策方法研究

张炜[1]，王佳琳[2]，张镱议[3]，张玉波[1]
（1. 广西电网有限责任公司电力科学研究院，广西 南宁 530023；
2. 广西电网有限责任公司，广西 南宁 530023；
3. 广西大学电气工程学院，广西 南宁 530004）

摘　要：针对电力设备检修决策中难以兼顾成本和长期效益的问题，提出一种基于设备役龄回退分析的预测性检修决策方法。首先，基于设备现况计算检修前的故障率。其次，基于设备役龄回退分析方法预测检修后的故障率。然后，依据设备检修前后的故障率，分别计算检修前后的全生命周期成本变化量和检修方式的费效比。最后，分别按可靠性优先、经济性优先和费效比优先的原则遴选最佳检修策略。实例效果表明，文中建立的基于役龄回退分析的弹性周期和状态的检修决策优化算法，考虑了执行不同检修策略后的修复效能和设备状态等不确定因素，实现了符合长期效益的检修。

关键词：电力设备；检修；役龄回退；全生命周期成本；故障率；效益
中图分类号：TM407　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：2096-3203(2020)04-0201-06

0　引言

随着电力设备精益化管理的不断深入，变压器、断路器等主设备对运行可靠性的要求日益严苛[1]。针对潜伏性故障提出科学的预测性检修策略，确保电力系统能够达到风险、效能和成本的综合最优。

在电力企业中，仍以设备役龄长短决定是否继续运行或需要检修，这可能导致应该退役的设备继续运行，而状态良好的设备被过度检修或提前退役[2]。当前研究制定的检修策略已经开始注重兼顾可靠性和经济性两方面因素，并预估检修后的效果[1,3]。状态评价扣分方法虽然简单易用，但仅关注设备健康程度，且定期评价周期（1 a）较长，难以预判检修后系统及设备的状态。文献[4]和文献[5]分别建立设备运行检修状态转移马尔可夫过程和基于关联集分解的数学模型，并以风险最小为优化目标，构建了变电站状态检修决策模型；文献[6—7]考虑到设备突发故障对系统的影响因素，提出计及随机事件的状态检修决策模型；文献[8—9]通过分析部件故障模式的故障严重程度及发生比例，确定部件的检修优先度并安排检修方式。然而，上述检修策略优化方案虽然考虑了系统风险、设备效能与投资成本的因素，但是忽略了执行不同检修策略后影响修复效能和设备状态的不确定因素，所制定的检修策略侧重于已知状态，或者缺少可选的适用条件。

针对电力企业日益关注的检修成本和长期效益，提出一种基于设备役龄回退分析的预测性检修方法。考虑到设备老化率随时间递增，设备健康度是时间函数，该方法基于设备检修前后故障概率，分别测算系统风险减小程度（ΔE）、设备检修前后的全生命周期成本变化量（ΔL）和设备检修的费效比（C），并由此遴选符合长期效益的弹性检修策略。

1　检修策略的评估指标

1.1　指标分类

虽然存在需同时检修变电站内多台设备的可能，但受供电需求、安全风险及检修资源（人力、物力）的制约而难以同时安排，所以检修决策尤为重要。检修决策关键在于优先选择检修健康度低、重要度高的设备，并兼顾可靠性、经济性[10—11]。为此，文中采用了以下评估指标：ΔE_{ij}为检修后系统风险的变化量，反映检修对变电站供电可靠性的影响；ΔL_{ij}为检修后全生命周期成本的变化量，反映检修对设备经济性的影响；C_{ij}为检修的费效比，即降低单位期望缺供电量（expected energy not supplied，EENS）所需的检修费用。其中，i 为设备编号，j 为设备检修策略编号。

1.2　EENS

1.2.1　概念

EENS 是指系统在既定时间内因发电容量短缺或电网约束造成负荷供给需求电量削减的期望数。

收稿日期：2020-01-13；修回日期：2020-02-17
基金项目：国家自然科学基金资助项目（51867003）；中国南方电网有限责任公司科技项目（GX2014-2-0025）

因 EENS 可结合故障概率和后果[12]，故文中将其作为表征设备检修对变电站供电可靠性影响的评价指标（单位为 MW·h）。

1.2.2 求解系统状态概率

利用状态枚举法选择系统状态概率，如式（1）所示：

$$P_s = \prod_{i=1}^{n_d} F_i \prod_{i=1}^{n-n_d} (1 - F_i) \tag{1}$$

式中：P_s为系统状态概率；n 为设备数量；n_d为失效设备数量，仅考虑一介故障事件时取 1；F_i为失效的设备不可用率。

其中，F_i的计算方法如式（2）所示：

$$F_i = \lambda_i d_i \quad d_i = M/8\ 760 \tag{2}$$

式中：λ_i为设备的故障率；d_i为设备的非计划停运处理时间；M 为平均修复时间。

首先依据设备发生故障后导致的设备停运时间将设备故障划分为 5 个等级，再分别依据处理时间分析、计算设备的不可用率。

（1）一级事件：停运时间≥30 d；

（2）二级事件：7 d≤停运时间<30 d；

（3）三级事件：24 h≤停运时间<7 d；

（4）四级事件：2 h≤停运时间<24 h；

（5）五级事件：停运时间<2 h。

1.2.3 预想事故分析

针对某负荷水平下系统过载的问题，计算此时发生失效的最小负荷削减量，则某一负荷等级下某一设备 k 失效引起的 EENS 的计算如式（3）所示：

$$E_k = P_{sk} C_k T_k \tag{3}$$

式中：E_k为设备 k 失效引起的 EENS；C_k为设备失效时，通过该设备的输出有功功率瞬时值；P_{sk}为设备失效时的系统状态概率；T_k为失效时间。

计算变电站的 EENS 并排序设备重要度，EENS（即 E）的计算如式（4）所示：

$$E = \sum_{i=1}^{S} E_i \tag{4}$$

1.3 全生命周期成本

全生命周期成本（life cycle cost，LCC）[3]是指设备至报废全过程期间所支出的费用之和。LCC 分析是重要的投资评估和技术经济分析方法，其计算方法如式（5）所示：

$$L = C_I + C_O + C_M + C_F + C_D \tag{5}$$

式中：L 为 LCC；C_I为投资成本；C_O为运行成本；C_M为维护成本；C_F为故障成本；C_D为退役成本。

1.4 费效比

设备检修的费效比 $C_{ij} = L_{ij}/\Delta E_{ij}$，即变电站降低单位 EENS 所需费用，是评价用于兼顾可靠性、经济性的指标[10]。

2 检修策略的制定流程

2.1 计算检修前的故障率

基于改进役龄回退分析的电力设备弹性检修决策需要通过缺陷指数求解设备故障概率 λ_0[10]，流程如图 1 所示。

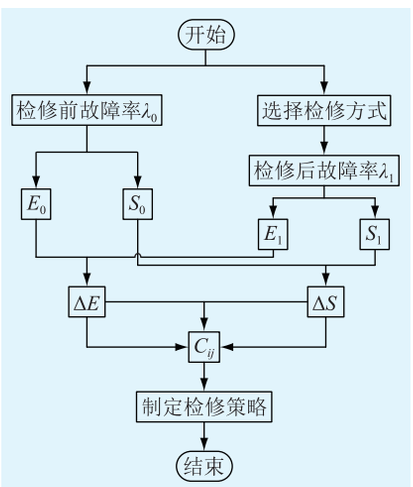


图 1 检修策略制定流程

Fig.1 The flow chart of the maintenance strategy

南方电网公司颁布的《输变电一次设备风险评估导则（试行）》提出了电力设备的故障概率计算模型，一般故障概率的计算如式（6）所示：

$$\lambda_0 = \begin{cases} 0 & d \leqslant 0.5 \\ 0.003\ 92 e^{\frac{d}{1.252\ 73}} - 0.007\ 99 & d > 0.5 \end{cases} \tag{6}$$

式中：d 为缺陷指数，可根据设备的扣分值和状态等级确定，$d = S_i + Z/Z_i$；S_i为设备的状态指数；Z 为设备的实际总扣分值；Z_i为该类设备下该等级最大的扣分值。为了与状态评价结果的 4 个状态等级（正常、注意、异常、严重）相对应，将缺陷指数区间划分为 4 个区间，分别为 0~1，1~2，2~3 和 3~4。

2.2 评估检修方式

不同设备的缺陷或故障需制定针对性的检修策略。参考 Q/CSG 1206007—2017《电力设备检修试验规程》中的内容，将检修方式分为 A、B 和 C 三大类：

（1）A 类检修是指设备需停电进行整体检查、维修、更换、试验工作；

（2）B 类检修是指设备需停电进行局部检查、维修、更换、试验工作（B1 类检修），需停电或不停电进行周期性试验工作（B2 类检修）；

（3）C 类检修是指设备不需停电进行检查、维

修、更换、试验工作。

综合考虑五类不同事件等级的处理时间和三类检修方式的适用范围,优先采取的检修机制为:一、二级事件采用 A 类检修方式,三、四级事件采用 B 类检修方式,五级事件采用 C 类检修方式。

2.3 计算检修后的故障率

由于当前状态评价方法仅考虑设备状态,未计及设备故障概率、运行时间[13—14],故不能直接预测设备检修后的故障概率。同时,为了预估检修后设备的健康度,需基于役龄回退分析法[15—17]推算检修后的设备故障率。基于指数分布的设备故障概率 $\lambda(t)$,以役龄回退因子定量表示检修对设备役龄的影响,即设备的修复效能近似于设备的役龄时间回退到了某一等效时间[17],计算如式(7)所示:

$$\lambda(t)=\alpha e^{\beta t} \tag{7}$$

式中:t 为设备役龄;α,β 为常数,基于设备状态评价结果,利用最小二乘方法拟合故障概率与缺陷指数的函数关系而得。若某种检修方式下的役龄回退因子为 η,变压器等效役龄为 t_a 时,则该种检修方式之后的变压器等效役龄为 $t_a(1-\eta)$,即可求出此时(检修后)的设备故障率 $\lambda(t)$。

2.4 计算 ΔE_{ij} 和 ΔL_{ij} 及 C_{ij}

根据式(6)和式(7)所计算的故障率,分别得到检修前的 E_0,L_0 以及检修后的 E_1,L_1,继而求出 ΔE_{ij},ΔL_{ij},C_{ij}。

2.5 制定策略

若需以可靠性优先,则以 ΔE_{ij} 由大到小排序,且宜采用 A 类检修方式[14]。

若需以经济性优先,则以 ΔL_{ij} 由小到大排序,且宜采用 C 类检修方式。

若兼顾可靠性和经济性,则以 C_{ij} 由大到小排序,且重要设备宜用 A 或 B 类检修方式,次要设备宜用 C 类检修方式。

3 算例分析

3.1 算例背景

以某 500 kV 变电站的主变压器、断路器设备运维决策为例,图 2 为变电站 500 kV 侧电气主接线示意图。图中,1 号和 2 号主变三相高压侧容量均为 750 MV·A,额定电压 $525\sqrt{3}$ kV,额定电流 824.8 A;12 台 500 kV 开关均为 SF_6 断路器。

当 1 号主变停电检修,另一台主变非计划停运时,将造成当地网区负荷供应能力降低约320 MW;综合考虑附近电厂机组跳闸等事故风险,还需额外限电约 240 MW。当地网区减供近 560 MW 时将导致居民负荷的大面积拉闸限电。但一年后,当地另一座 500 kV 变电站及相关线路投运,500 kV 变电站 1 号主变停电可不需对网区限电。

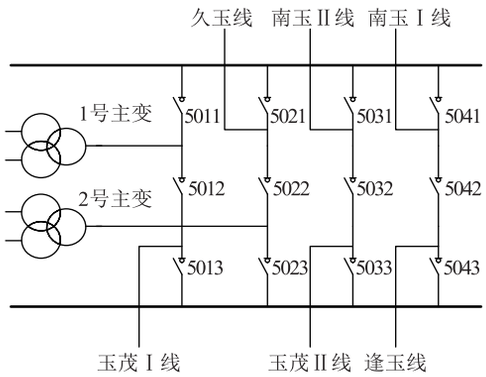


图 2 电气主接线

Fig.2 The main electrical wiring

表 1 给出了变压器和断路器的原始数据,设变电站负载功率因数为 0.9,且断路器的额定载流量满足负荷需求,2 台主变平均分配负荷。

表 1 基础数据

Table 1 Basic data h

设备	现场修复时间	倒闸操作时间	负荷转移时间
变压器	175.2	0.3	5
断路器	87.6	0.5	5

500 kV 变压器和断路器的 B 修项目周期为 3 a,期间如额外增加 A 修后的运维费用分别达 300 万元和 70 万元,取折现率 5%。

利用等额系列资金回收系数算法计算得到变压器和断路器的各项年平均成本,如表 2 所示。其中,设备降额运行功率为平均功率一半;单位停电损失费用可通过基于广西国民生产总值和广西电力社会用电量的计算方法得到。文中基于 2007 年广西经济、电力数据[18],计算得到广西单位停电损失费为 8.5 元/(kW·h)。

表 2 设备检修的各项成本

Table 2 Equipment maintenance costs 万元

设备	C 类检修	B 类检修	A 类检修	故障损失费
变压器	5	30	69.3	400
断路器	1	7	16.2	100

3.2 计算检修前的故障概率

按式(6),并以 1 号主变为例计算其平均故障概率:

$$d=S_i+M/M_i=3 \tag{8}$$

$$\lambda_0=0.033\ 1 \tag{9}$$

结合役龄回退理论构建设备检修决策的故障

概率预测方法，可类推其他设备的平均故障概率，计算结果如表 3 所示。

表 3　待检设备信息

Table 3　Information about equipment

设备名称	风险等级	状态信息	扣分	故障概率
1 号主变	异常	外壳轻微锈蚀；且绕组介损超注意值	24	0.035 0
2 号主变	注意	油中糠醛含量大于 4mg/L	20	0.011 3
5032 开关	异常	发热，热点温度大于 80 ℃，小于 100 ℃	16	0.020 8
5043 开关	严重	触头回路电阻不合格	24	0.087 5

3.3　计算修后设备的故障概率

用最小二乘法对数据进行拟合，得到了 2 个待定参数 α，β 的最佳取值分别为 $\alpha=0.002\ 789$，$\beta=0.144\ 4$。由式(7)得 $\lambda(t)=0.002\ 789\mathrm{e}^{0.144\ 4t}$。为了定量表征检修所带来设备故障概率的变化，役龄回退因子 η 取值如表 4 所示，其中 j 为检修方案编号。

表 4　不同检修方案下 η 的取值

Table 4　Values of η under different maintenance schemes

j	检修方案	η
1	C 类检修	0.1
2	B 类检修	0.5
3	A 类检修	0.8

3.4　计算评价指标

根据预想事故分析，枚举各待检设备故障引起变电站负荷削减的状态，分析各系统状态的故障影响。通过计算各状态对应的概率和负荷削减量，得到检修前变电站的 EENS 和故障损失成本、检修方案的评价指标结果分别如表 5 和表 6 所示。

表 5　检修前变电站的 EENS 和故障成本

Table 5　EENS and failure cost of substation before maintenance

设备	状态概率	故障模式与影响分析	E/(kW·h)	故障损失/元
1 号主变	0.001 468	5011 和 5012 断开，电站失去 155 MW 负荷，5 h 后恢复供电	1 135.87	13 857.65
2 号主变	0.000 524	5022 和 5023 断开，电站失去 155 MW 负荷，5 h 后恢复供电	405.06	4 941.79
5032 开关	0.000 208	5031 和 5033 断开，0.5 h 后南玉Ⅱ线和玉茂Ⅱ线恢复供电	15.56	189.774 8
5043 开关	0.000 875	5013、5023、5033 和 5042 断开，逢玉线 0.5 h 后恢复供电	26.19	319.545 8

表 6　评价指标计算结果

Table 6　Calculation results of the evaluation index

设备	指标	C 类检修	B 类检修	A 类检修
1 号主变	ΔE_{ij}	191.70	747.13	945.33
	ΔL_{ij}	60 509.20	300 866.10	690 425.10
	C_{ij}	315.64	402.69	730.35
2 号主变	ΔE_{ij}	49.34	189.84	240.82
	ΔL_{ij}	54 082.65	30 1643.41	69 3758.70
	C_{ij}	1 096.18	1 588.97	2 880.75
5032 开关	ΔE_{ij}	174.96	177.26	189.76
	ΔL_{ij}	1 017.80	70 111.00	162 085.43
	C_{ij}	58.13	395.52	854.17
5043 开关	ΔE_{ij}	29 709	308.80	33.50
	ΔL_{ij}	10 832.59	70 298.58	162 069.45
	C_{ij}	36.46	227.64	56.39

3.5　检修决策

根据计算求解的 ΔE_{ij}，ΔL_{ij}，C_{ij} 制定具体的检修方案，包括单台设备和多台设备的检修方案，下面分别来进行分析。

（1）单台设备的检修方案。根据表 6 计算结果可知，对 1 号主变实施 A、B 和 C 这 3 种检修方案前后，变电站的 EENS 从降额运行到退役不断减小，但 LCC 不断增加。若优先考虑可靠性，则应该选择 A 类检修方案；若优先考虑经济性和费效比，应选择 C 类检修方案。

同理，根据表 6 的计算结果，也可分别制定 2 号主变、5032 开关和 5043 开关 3 台设备检修方案。

（2）变电站内多台设备的检修策略。比较各待检设备的相关评价指标计算结果，给出如下优化检修策略：

（a）可靠性优先策略。先对 1 号主变实施 A 类检修，再对 5043 开关、2 号主变和 5032 开关依次实施 A 类检修。该方案以 EENS 最小为目标（可靠性最高），但缺乏经济性。

（b）经济性优先策略。依次对 5032 开关、5043 开关和 2 号主变和 1 号主变实施 C 类检修。该方案以检修成本最小为目标，满足经济性要求。

（c）费效比优先策略。先对 5043 开关和 5032 开关和 1 号主变实施 A 或 B 类检修，再对 2 号主变实施 C 类检修，并加强对 2 号主变加强带电检测。该方案为最终采纳的检修策略。

实施费效比优先策略的方案后，地区电网与设备均稳定，且有效控制检修成本；一年后，另一座 500 kV 变电站及相关线路投运后，进一步加强地区电网稳定。同时，相较扣分法评价周期（1 a），具有很好的及时性，验证了通过设备役龄回退因子预测

分析故障率的方法,更有助于求解 EENS 和故障损失成本,并用于客观决策检修方案。

4 结语

基于设备役龄回退分析的预测性检修方法可以推算检修前后的故障概率,并用于弹性制定检修策略,减少运维成本,提升长期效益。该方法综合分析不同检修方案检修前后变电站 EENS 和设备 LCC 的变化量以及费效比,进而能够在控制供电风险的前提下克服成本和长期效益的矛盾,分别按可靠性优先、经济性优先和费效比优先的原则遴选最佳检修策略。其中,役龄回退因子可用于定量描述役龄对设备性能的修复效果,算例分析中的决策结果验证了费效比优先策略能够同时兼顾可靠性和经济性。

参考文献:

[1] 张镱议,廖瑞金,杨丽君,等. 综合考虑可靠性与经济性的电力变压器检修方案优选[J]. 电工技术学报,2014,29 (11):191-200.
ZHANG Yiyi,LIAO Ruijin,YANG Lijun,et al. Maintenance decision making of power transformer by integrated considering reliability and economy[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2014,29 (11):191-200.

[2] 肖辅盛,高适,邓超志,等. 一种基于检修风险收益的输变电设备检修优先级排序方法[J]. 电力系统保护与控制,2017,45(22):110-116.
XIAO Fusheng, GAO Shi, DENG Chaozhi, et al. Maintenance prioritization method of transmission and transformation equipment based on maintenance risk return[J]. Power System Protection and Control,2017,45(22):110-116.

[3] 杨文丽. 计及可靠性评估的中压配电网规划方案比选[J]. 电力工程技术,2018,37(2):13-19,43.
YANG Wenli. Comparison and selection of MV distribution network planning schemes considering reliability assessment[J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(2): 13-19, 43.

[4] 徐波,韩学山,刘长银,等. 基于关联集分解的系统状态检修决策模型[J]. 电力系统自动化,2012,39(2):46-52.
XU Bo, HAN Xueshan, LIU Changyin, et al. Condition-based maintenance decision-making model for power system based on association sets decomposition[J]. Automation of Electric Power Systems,2012,39(2):46-52.

[5] 李明,韩学山,王勇,等. 变电站状态检修决策模型与求解[J]. 中国电机工程学报,2012,32(25):196-202.
LI Ming,HAN Xueshan,WANG Yong,et al. Basic concept and theoretical study of condition-based maintenance for power transmission system[J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(25):196-202.

[6] 汲国强,吴文传,张伯明,等. 一种适用于状态检修的电力设备时变停运模型[J]. 中国电机工程学报,2013,33(25):139-146.
JI Guoqiang,WU Wenchuan,ZHANG Boming,et al.A time-varying component outage model for power system condition-based maintenance[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(25): 139-146.

[7] 徐波,韩学山,孙东磊,等. 计及机会维修的系统状态检修决策模型[J]. 中国电机工程学报,2015,35(21):5418-5428.
XU Bo, HAN Xueshan, SUN Donglei, et al. System condition-based maintenance scheduling considering opportunistic maintenance[J]. Proceedings of the CSEE,2015,35(21):5418-5428.

[8] 袁峻,熊小伏,韦瑞峰. 一种优化可靠性与经济性的变压器检修决策方法[J]. 南方电网技术,2015,9(7):88-94.
YUAN Jun,XIONG Xiaofu,WEI Ruifeng. A method for optimizing the reliability and economy of transformer maintenance[J]. China Southern Power Grid Technology,2015,9(7):88-94.

[9] 曾丹乐,杜修明,盛戈皞,等. 基于因子分析法与 D-S 证据理论的变压器关键参量提取和状态评估[J]. 高压电器,2016,52(3):7-14.
ZNEG Danle,DU Xiuming,SHENG Gehao,et al. Key parameters extraction and condition evaluation of transformer based on factor analysis and D-S evidence theory[J]. High Voltage Apparatus,2016,52(3):7-14.

[10] 王正风,袁辉. 发输电设备检修计划优化决策系统设计与应用[J]. 电力工程技术,2018,37(2):132-137.
WANG Zhengfeng, YUAN Hui. Design and application for maintenance plan optimization decision system of generation and transmission equipment[J]. Electric Power Engineering Technology,2018,37(2):132-137.

[11] 郭丽娟,陶松梅,张炜. 兼顾供电可靠性和 LCC 的变电站主设备检修策略优化方法[J]. 电力系统自动化,2016,40(15):99-105
GUO Lijuan,TAO Songmei,ZHANG Wei. Maintenance strategy optimization for main equipment in substations considering both power supply reliability and life cycle cost[J]. Automation of Electric Power Systems,2016,40(15):99-105.

[12] BERTLING L,ALLAN R,ERIKSSON R. A reliability-centered asset maintenance method for assessing the impact of maintenance in power distribution systems[J]. IEEE Transactions on Power Systems,2010,20(1):75-82.

[13] 潘乐真, 张焰, 俞国勤,等. 状态检修决策中的电气设备故障率推算[J]. 电力自动化设备,2010,30(2):91-94.
PAN Lezhen,ZHANG Yan,YU Guoqin,et al. State maintenance decision in the electrical equipment failure rate calculation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(2): 91-94.

[14] 张煦,张向伍. 计及运行工况影响的电力设备检修策略分析[J]. 电力系统保护与控制,2017,45(1):74-80.
ZHANG Xu,ZHANG Xiangwu. Taking into account the impact of operating conditions of power equipment overhaul strategy analysis[J]. Power system protection and control, 2017, 45(1):74-80.

[15] 李铭钧,陈杏,甘团杰,等. 基于模糊役龄回退的电力设备

弹性检修决策优化模型[J]. 广东电力,2016,29(11):99-104,114.
LI Mingjun, CHEN Xing, GAN Tuanjie, et al. Optimization model of elastic equipment decision-making based on fuzzy service age retreat[J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(11):99-104,114.

[16] 张爽,田浩,焦龙,等. 基于役龄回退理论的电网设备健康指数建模方法[J]. 供用电,2016,33(1):8-13.
ZHANG Shuang, TIAN Hao, JIAO Long, et al. Based on the theory of life back to the power grid equipment health index modeling method[J]. Distribution & Utilization, 2016, 33(1): 8-13.

[17] 顾洁,杜渐,秦杰,等.基于全寿命周期成本的变电站设备检修模糊规划模型[J]. 电力系统自动化,2014,38(1):44-50.
GU Jie, DU Jian, QIN Jie, et al. A fuzzy programming model based on life cycle cost for equipment maintenance in substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(1): 44-50.

[18] 孙志媛,刘默斯,王富松. 广西电力经济协调发展研究[J]. 广西电力,2014,37(5):17-19,57.
SUN Zhiyuan, LIU Mosi, WANG Fusong. Study on coordinated development between electric power and economy in Guangxi [J]. Guangxi Electric Power, 2014, 37(5): 17-19, 57.

作者简介:


张炜

张炜(1983),男,硕士,高级工程师,从事电力设备状态监测评价工作(E-mail:zw_10@163.com);

王佳琳(1982),男,硕士,高级工程师,从事变电设备管理和状态检修工作;

张镱议(1986),男,博士,副教授,从事电力设备故障诊断研究工作。

The equipment maintenance decision method based on the analysis of the age reduction

ZHANG Wei[1], WANG Jialin[2], ZHANG Yiyi[3], ZHANG Yubo[1]

(1. Guangxi Power Grid Co., Ltd. Electric Power Research Institute, Nanning 530023, China;
2. Guangxi Power Grid Co., Ltd., Nanning 530023, China;
3. School of Electrical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: According to the maintenance cost and long-term benefits of electric equipment, a predictive maintenance decision method based on the service ageis proposed. Firstly, the failure rate is calculated before maintenance based on the equipment status. Secondly, the failure rate after overhauling is predicted based on equipment service age reduction. Thirdly, according to the failure rate, the degree of EENS, the change of LCC and the cost-effectiveness ratio of maintenance are calculated, respectively. Finally, the best maintenance plan is chosen on the basis of the principle of reliability priority, economy priority and cost-effectiveness priority. The results show that the decision-making algorithm of elastic period and elastic state based on the analysis of the age reductionconsidering uncertain factors such as repair efficiency and equipment status of different maintenance strategiesis in line with long-term benefits.

Keywords: electric equipment; maintenance; service age reduction; life cycle cost(LCC); failure rate; benefit

(编辑　钱悦)