

计及设备故障检修的电网可靠性和经济性分析

张煦¹, 张向伍²

(1. 江苏无锡供电公司, 江苏 无锡 214000; 2. 河南南阳供电公司, 河南 南阳 473000)

摘要: 电力设备在服役期间受到老化、磨损或天气等运行工况的影响, 故障率随时间增长具有累积效应。全面分析影响各类电力设备可靠性的主要因素, 建立了计及运行工况的时变故障率模型; 在此基础上, 考虑各计划检修等级对电力设备可靠性的不同改善程度, 利用役龄回退模型构建了A, C 2个重要检修等级下的电力设备故障率函数, 并推导了各类电力设备平均无效度公式, 进而得到系统可靠性/经济性指标解析表达式。最后通过可靠性测试(RBTS)系统验证评估方法的有效性, 并对RBTS发电机系统进行了灵敏度分析。

关键词: 运行工况; A, C级检修; 役龄回退; 平均无效度; 灵敏度分析

中图分类号: TM73

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2016)02-0060-05

电力系统中各类电力设备如发电机、变压器和线路等在运行中都受到自身老化、机械磨损、温度和天气等运行工况的影响, 其风险水平随着服役时间的增加逐渐累积增长^[1]。目前国内电力企业为改善电力设备可靠性主要采用计划检修和状态检修方式^[2], 但是由于状态检修依赖于先进的状态监测和状态评价技术, 监测装置本身又存在故障的可能以及状态评价技术尚不成熟等因素限制了状态检修方式的应用。计划检修能有效延缓电力设备劣化趋势, 成为提高供电可靠性最常采用的技术手段。计划检修延缓电力设备劣化过程主要体现在计划检修能延缓老化, 削弱甚至彻底消除磨损和其他隐性因素, 改善电力设备运行状态。目前计划检修对电力设备故障率削减程度模型具体基于两大类。一类是采用概率方法, 认为电力设备经计划检修后以一定概率“恢复如新”^[3]; 另一类则基于役龄回退模型^[4], 由于故障率是关于设备服役时间的函数, 役龄回退模型则认为设备经检修后的恢复效果相当于设备役龄回退至之前某个时刻点, 该模型使得设备经过检修后的恢复效果介于“恢复如新”和“恢复如旧”之间, 更贴近实际检修效果, 本文也采用该模型开展研究。

目前电力企业对各类电力设备实施了A, B, C, D 4个检修等级^[5,6]其中C级检修为电网年度性常规检修, 而A级检修对设备进行全面彻底解体检查和修复, 本文选取A, C 2个最具有代表性的等级构建多级检修模型, 以此为基础, 结合役龄回退模型开展多级检修可靠性、经济性评估。

1 计及运行工况的电力设备故障率模型

1.1 发电机的故障率函数

影响发电机可靠性的因素大体可分为3类。

(1) 发电机发热老化、机械磨损导致运行状态逐渐恶化, 故障率随服役时间逐渐攀升, 可用 $\beta_1=1$ 的二重复合威布尔函数 $\lambda_{g1}(t)$ 近似描述^[7];

(2) 电压、频率异常波动引起的发电机保护动作, 考虑到电压、频率的波动具有随机性, 因而可采用一恒定故障率 λ_{g2} 表示;

(3) 恶劣环境等外界因素造成的发电机停运, 因为同样具有偶然性, 因此也可以采用一恒定故障率 λ_{g3} 来描述。

综上可得发电机故障率模型为:

$$\lambda_{gen}(t) = \lambda_{g1}(t) + \lambda_{g2} + \lambda_{g3} = (\alpha_1 + \alpha_2 \beta_2 t^{\beta_2 - 1}) + \lambda_{g2} + \lambda_{g3} \quad (1)$$

式(1)中: $\alpha_1 \geq 0$, $\alpha_2 \geq 0$ 为二重威布尔函数的尺度参数; $\beta_2 \geq 0$ 为形状参数。

1.2 变压器的故障率函数

变压器在服役过程中受到老化、保护误动和人为误操作等多种内、外因素的影响, 其中外因部分保护误动、人为误操作对变压器故障率的影响同发电机第(2), (3)类停运因素的分析一样, 同样可分别用一恒定值 λ_{t2} , λ_{t3} 描述。而内因随时间具有累积效应, 是导致变压器停运的重要因素, 目前我国多为油浸式变压器, 失效的主要原因是绝缘性能的劣化, 描述该内因对变压器故障率贡献的模型^[8], 即:

$$\lambda_{tran}(t) = \frac{\beta}{C \exp(\frac{B}{\theta_H + 273})} \cdot \left(\frac{t}{C \exp(\frac{B}{\theta_H + 273})} \right)^{\beta - 1} \quad (2)$$

式(2)中: B, C 为经验值; θ_H 为热点温度; β 为形状参数; t 为变压器在热点温度 θ_H 下的持续运行时间。其中 θ_H 与变压器负载率 K 和环境温度 θ_A 有关, 其计算模型及公式参照文献^[9]。

综上变压器故障率模型如下:

$$\lambda_{\text{tra}}(t) = \frac{\beta}{C \exp\left(\frac{B}{\theta_H + 273}\right)} \cdot \left(\frac{t}{C \exp\left(\frac{B}{\theta_H + 273}\right)}\right)^{\beta-1} + \lambda_{t_2} + \lambda_{t_3} \quad (3)$$

1.3 架空线路的故障率函数

架空线路老化故障率增长的主要原因是抗拉强度的损失^[8],可用 $\beta_1=1$ 的二重复合威布尔函数描述。此外,由于架空线路属于暴露型元件^[10],故障率受天气影响显著,恶劣天气将大幅增加失效概率,因而线路故障率函数为:

$$\lambda_{\text{line}}(t) = \eta_1 \alpha_1 + \eta_2 \alpha_2 \beta_2 t^{\beta_2-1} \quad (4)$$

式(4)中: η_1, η_2 为天气对输电线路故障率的影响因子,正常天气下 $\eta_1=1, \eta_2=1$ 。

2 各类电力设备平均无效率计算

本文依据检修等级的不同修复程度,设A级检修为使设备“恢复如新”的完全检修方式,事后检修为使设备“修复如旧”的最小检修方式,C级检修为介于二者之间的不完全检修方式,则A级、C级检修下故障率曲线如图1所示。

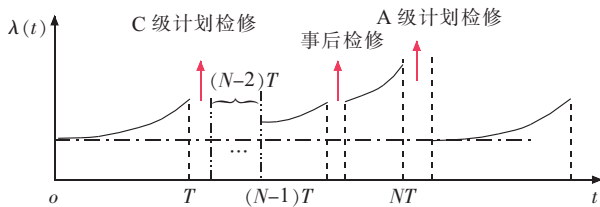


图1 A/C级检修方式下设备故障率曲线

假设电力设备的A级、C级检修周期比率为 N ,即进行1次A级检修前有 $N-1$ 次C级检修,并设C级检修周期为 T ,第 i 次C级检修前有效役龄为 $h^{(i)}$,第 $i-1$ 至 i 次C级检修间的故障率函数为 $\lambda^{(i)}(t)$,役龄回退因子为 $k^{(i-1)}$,考虑到C级检修效果随着次数的增加改善效果逐渐变差,即 $0=k^{(0)} \leq k^{(1)} \leq \dots \leq k^{(N-1)} \leq 1$ 。则:

$$h^{(i)} = k^{(i-1)} h^{(i-1)} + T = T + k^{(i-1)} T + \dots + k^{(i-1)} \dots k^{(2)} k^{(1)} T = K^{(i)} T \quad (5)$$

$$\lambda^{(i)}(t) = \lambda^{(i-1)}(k^{(i-1)} h^{(i-1)} + t) = \lambda(K^{(i)} T + t) \quad (6)$$

式(5,6)中:

$$K^{(i)} = \sum_{j=1}^{i-1} \prod_{j=1}^{i-1} k^{(j)}, \quad i=1, \dots, N$$

则A级检修期间内平均停运时间 T_{Out} 为:

$$T_{\text{Out}} = r''_{\text{LA}} + (N-1)r''_{\text{LC}} + r \sum_{i=1}^N \int_0^T \lambda^{(i)}(t) dt \quad (7)$$

式(7)中: r''_{LA} 为平均A级检修时间; r''_{LC} 为平均C级检修时间; r 为平均事后检修时间。 $T, T_{\text{Out}}, r''_{\text{LA}}, r''_{\text{LC}}, r$ 的单位均为h, $\lambda^{(i)}(t)$ 单位为次/h。

根据平均无效率概念,其定义为给定时间 T_{Tot} 内

平均不可用时间 T_{Out} 与 T_{Tot} 的比值,结合式(6)、式(7),可得平均无效率 Q 为:

$$Q = \frac{T_{\text{Out}}}{T_{\text{Tot}}} = \frac{r''_{\text{LA}} + (N-1)r''_{\text{LC}} + r \sum_{i=1}^N \int_0^T \lambda(K^{(i)} T + t) dt}{NT} \quad (8)$$

下面针对第1节建立的各类设备故障率模型,利用式(8)推导其平均无效率。

(1) 计及多级检修的发电机平均无效率。将式(1)代入式(8)可得:

$$Q_{\text{gen}} = \{r''_{\text{LA}} + (N-1)r''_{\text{LC}} + r \sum_{i=1}^N \int_0^T \{[\alpha_1 + \alpha_2 \beta_2 (K^{(i)} T + t)^{\beta_2-1}] + \lambda_{g_2} + \lambda_{g_3}\} dt\} / NT \quad (9)$$

(2) 计及多级检修的变压器平均无效率。通过变压器的日典型负载率曲线,日典型温度曲线,利用文献[9]的方法可算得变压器热点温度曲线。在此基础上将热点温度进行聚类,获得一组典型热点温度($t_{H1}, t_{H2}, \dots, t_{Hm}$)及其对应的概率(P_1, P_2, \dots, P_m),通过该组热点温度和式(3)可计算对应故障率函数($\lambda_{\text{tra1}}(t), \lambda_{\text{tra2}}(t), \dots, \lambda_{\text{tram}}(t)$)。则A级检修期间变压器平均无效率为:

$$Q_{\text{tra}} = \{r''_{\text{LA}} + (N-1)r''_{\text{LC}} + r \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m P_j \int_0^T \left\{ \frac{\beta}{C \exp\left(\frac{B}{t_H + 273}\right)} \left[\frac{K^{(i)} T + t}{C \exp\left(\frac{B}{t_H + 273}\right)} \right]^{\beta-1} + \lambda_{t_2} + \lambda_{t_3} \right\} dt\} / NT \quad (10)$$

(3) 计及计划检修的输电线路平均无效率。采用基于正常、恶劣天气的两状态天气模型描述天气对输电线路故障率的影响,并设恶劣天气向正常天气的转移率为 μ ,正常天气向恶劣天气的转移率为 λ 。则A级检修期间输电线路平均无效率为:

$$Q_{\text{line}} = \{r''_{\text{LA}} + (N-1)r''_{\text{LC}} + r \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{\mu}{\lambda + \mu} \int_0^T [\alpha_1 + \alpha_2 \beta_2 (K^{(i)} T + t)^{\beta_2-1}] dt + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \int_0^T [\eta_1 \alpha_1 + \eta_2 \alpha_2 \beta_2 (K^{(i)} T + t)^{\beta_2-1}] dt \right\}\} / NT \quad (11)$$

3 系统可靠性与经济性指标

本文第1节根据各电力设备运行工况的不同和对可靠性影响因素的差异,建立了发电机、变压器、架空线路的故障率函数模型;第2节进一步考虑不完全检修模式,基于平均无效率概念,推导了各电力设备平均无效率解析表达式。本节在前两节的基础上,利用解析方法求取系统可靠性、经济性指标以及灵敏度指标,便于全面分析电力系统可靠性和经济性,找出影响系统

总成本的关键设备,为电网经济性改善提高有益参考。

设某电力系统的元件数目为 M , 元件状态分别为 S_1, S_2, \dots, S_M , 且相互独立。元件 k 处于正常状态记为 $S_k=0$, 故障状态记为 $S_k=1$, 则系统状态 $x=(S_1, S_2, \dots, S_M)$ 的概率表示为:

$$P(x)=P(S_1) \cdot P(S_2) \cdot P(S_3) \cdots P(S_M) \quad (12)$$

结合第 2 节推导的平均无效度公式, 多级检修模式下系统可靠性指标 I_{LOLP}, I_{EENS} 的解析表达式为:

$$I_{LOLP} = \sum_{x \in X} I_f(x) P(x) = \sum_{x \in X} I_f(x) \prod_{k=1}^M P(S_k) = \sum_{x \in X} I_f(x) \prod_{k=1}^M [S_k Q_k + (1-S_k)(1-Q_k)] = \sum_{x \in X} I_f(x) \prod_{k=1}^M \left\{ S_k \cdot \frac{r''_{LAK} + (N_k - 1)r''_{LCK} + r_k \sum_{i=1}^{N_k} \int_0^{T_k} \lambda_k(K_k^{(i)} T_k + t) dt}{N_k T_k} + (1-S_k) \left[1 - \frac{r''_{LAK} + (N_k - 1)r''_{LCK} + r_k \sum_{i=1}^{N_k} \int_0^{T_k} \lambda_k(K_k^{(i)} T_k + t) dt}{N_k T_k} \right] \right\} \quad (13)$$

$$I_{EENS} = 8760 \sum_{x \in X} I_f(x) P(x) L_c(x) = 8760 \sum_{x \in X} I_f(x) L_c(x) \prod_{k=1}^M P(S_k) = 8760 \sum_{x \in X} I_f(x) L_c(x) \prod_{k=1}^M [S_k Q_k + (1-S_k)(1-Q_k)] = 8760 \sum_{x \in X} I_f(x) L_c(x) \prod_{k=1}^M \left\{ S_k \cdot \frac{r''_{LAK} + (N_k - 1)r''_{LCK} + r_k \sum_{i=1}^{N_k} \int_0^{T_k} \lambda_k(K_k^{(i)} T_k + t) dt}{N_k T_k} + (1-S_k) \left[1 - \frac{r''_{LAK} + (N_k - 1)r''_{LCK} + r_k \sum_{i=1}^{N_k} \int_0^{T_k} \lambda_k(K_k^{(i)} T_k + t) dt}{N_k T_k} \right] \right\} \quad (14)$$

系统总成本包括 2 个部分, 即检修成本和停电成本。则其中系统停电成本 C_{Out} 为:

$$C_{Out} = C_{unit} \cdot I_{EENS} = 8760 C_{unit} \sum_{x \in X} I_f(x) L_c(x) \prod_{k=1}^M \left\{ S_k \cdot \frac{r''_{LAK} + (N_k - 1)r''_{LCK} + r_k \sum_{i=1}^{N_k} \int_0^{T_k} \lambda_k(K_k^{(i)} T_k + t) dt}{N_k T_k} + (1-S_k) \left[1 - \frac{r''_{LAK} + (N_k - 1)r''_{LCK} + r_k \sum_{i=1}^{N_k} \int_0^{T_k} \lambda_k(K_k^{(i)} T_k + t) dt}{N_k T_k} \right] \right\} \quad (15)$$

式(15)中: C_{unit} 为单位停电成本, 万元/(MW·h)。

假设电力设备 k 单次 A 级检修成本为 C_{LAK} , 单次

C 级检修成本为 C_{LCK} , 单次事后检修成本为 C_{CORk} , 则系统总检修成本 C_{REP} 为:

$$C_{REP} = 8760 \sum_{k=1}^M \left[\frac{C_{LAK}}{N_k T_k} + \frac{C_{LCK}(N_k - 1)}{N_k T_k} + \frac{C_{CORk}}{N_k T_k} \sum_{i=1}^{N_k} \int_0^{T_k} \lambda_k(K_k^{(i)} T_k + t) dt \right] \quad (16)$$

综上可得系统总成本 C_{Total} 表示为:

$$C_{Total} = C_{Out} + C_{REP} = 8760 C_{unit} \sum_{x \in X} I_f(x) L_c(x) \prod_{k=1}^M \left\{ S_k \cdot \frac{r''_{LAK} + (N_k - 1)r''_{LCK} + r_k \sum_{i=1}^{N_k} \int_0^{T_k} \lambda_k(K_k^{(i)} T_k + t) dt}{N_k T_k} + (1-S_k) \left[1 - \frac{r''_{LAK} + (N_k - 1)r''_{LCK} + r_k \sum_{i=1}^{N_k} \int_0^{T_k} \lambda_k(K_k^{(i)} T_k + t) dt}{N_k T_k} \right] \right\} + 8760 \sum_{k=1}^M \left[\frac{C_{LAK}}{N_k T_k} + \frac{C_{LCK}(N_k - 1)}{N_k T_k} + \frac{C_{CORk}}{N_k T_k} \sum_{i=1}^{N_k} \int_0^{T_k} \lambda_k(K_k^{(i)} T_k + t) dt \right] \quad (17)$$

根据系统总成本 C_{Total} 解析表达式, 可推导出系统总成本对元件 k 的 C 级检修周期 T_k 的灵敏度:

$$\frac{C_{Total}}{T_k} = 8760 C_{unit} \sum_{x \in X} I_f(x) L_c(x) P(x) \frac{(2S_k - 1)}{P(S_k)} \cdot \left\{ \frac{r_k}{N_k T_k} \sum_{i=1}^{N_k} \left\{ (1+K_k^{(i)}) \lambda_k \left[(1+K_k^{(i)}) T_k \right] - K_k^{(i)} \lambda_k(K_k^{(i)} T_k) \right\} - \frac{1}{N_k T_k^2} \left[r''_{LA} + (N_k - 1)r''_{LCK} + r_k \sum_{i=1}^{N_k} \int_0^{T_k} \lambda_k(K_k^{(i)} T_k + t) dt \right] \right\} - 8760 \left[\frac{C_{LAK}}{N_k T_k^2} + \frac{C_{LCK}(N_k - 1)}{N_k T_k^2} \right] - \frac{8760 C_{CORk}}{N_k T_k^2} \sum_{i=1}^{N_k} \int_0^{T_k} \lambda_k(K_k^{(i)} T_k + t) dt + \frac{8760 C_{CORk}}{N_k T_k} \sum_{i=1}^{N_k} \left\{ (1+K_k^{(i)}) \lambda_k \left[(1+K_k^{(i)}) T_k \right] - K_k^{(i)} \lambda_k(K_k^{(i)} T_k) \right\} \quad (18)$$

本文通过电力系统可靠性、经济性指标以及灵敏度指标来分析电力系统可靠性和经济性水平。指标计算的基本思路是采用状态枚举法枚举电力系统的故障系状态, 通过直流最优削负荷模型筛选出需要全部或部分停电的系统状态, 并计算出相应的削负荷量, 从而得到一组故障系统状态向量和相应削负荷量的向量, 结合各电力设备平均无效度, 计算系统可靠性和经济性指标, 最后通过系统总成本对 C 级检修周期求导的方式反映各设备 C 级检修周期调整对系统总成本的改善程度。其流程图如图 2 所示。

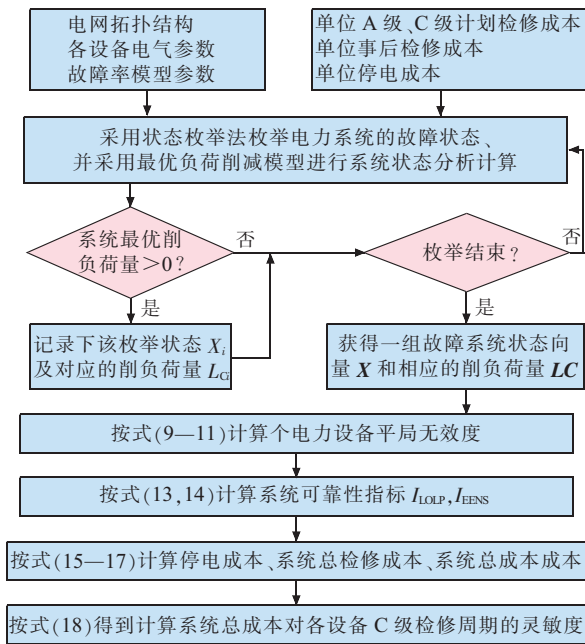


图 2 电力系统可靠性及经济性评估流程图

4 算例分析

本文针对可靠性测试(RBTS)^[11]开展 A 级、C 级检修的可靠性、经济性评估方法研究。设备检修费用包括材料费和施工费,发电机 C 级检修材料费可参考文献[12],线路 C 级检修材料费为 0.1 万元/km,施工费设为 0.02 万元/h。假设二重威布尔函数参数 α_1, α_2 分别为原故障率 0.6 倍和 0.3 倍,取 $\beta_2=3, \lambda_{g2}=0.5$ 次/a、 $\lambda_{g3}=0.3$ 次/a;恶劣天气对线路故障率的影响因子 $\eta_1=1.3, \eta_2=1.1$,单位时间内天气转移率 $\lambda=0.0079$ 次/h, $\mu=0.0208$ 次/h。设 $C_{\text{unit}}=0.05$ 万元/(MW·h),事后检修材料费取为 C 级检修材料费的 1/3 倍,A 级检修材料费取为 C 级检修材料费的 3 倍。

电力系统通常采取每年进行 1 次 C 级检修、5 年进行 1 次 A 级检修的检修模式,假设发电机 A 和 C 级检修时间分别为事后检修时间的 1.2 倍和 1.0 倍,线路的 A 级和 C 级检修时间为事后检修时间的 1.5 倍和 1.2 倍,设役龄回退因子为 $k^{(i)}=i/(2i+3.2)$ 。则 RBTS 在该检修模式下的可靠性、经济性评估结果以及 RBTS 系统总成本相对于各发电机 C 级检修周期的灵敏度分别如表 1、表 2 所示。

表 1 A/C 级检修方式下系统可靠性/经济性指标

I_{LOLP}	$I_{\text{EENS}}/\text{MW}\cdot\text{h}$	$C_{\text{Total}}/\text{万元}$	$C_{\text{Out}}/\text{万元}$	$C_{\text{REP}}/\text{万元}$
0.022 86	3 036.10	957.46	151.81	805.65

(1) 本文从可靠性和经济性 2 个方面对 RBTS 系统进行了全面分析, $I_{\text{LOLP}}, I_{\text{EENS}}$ 反映了系统的可靠性水平,而停电成本 C_{Total} 也是可靠性水平的体现,同时将可靠性水平转换成停电成本形式能直观与检修成本形

表 2 RBTS 总成本相对于各发电机 C 级检修周期的灵敏度

发电机序号	对应节点	发电机容量/MW	灵敏度 $\times 10^{-4}$
G1	1	40	100.212 4
G2	1	10	9.941 171
G3	1	20	37.200 36
G4	1	40	100.212 4
G5	2	5	-0.318 3
G6	2	5	-0.318 3
G7	2	20	5.740 714
G8	2	20	5.740 714
G9	2	20	5.740 714
G10	2	20	5.740 714
G11	2	40	37.839 79

成比较,从表 1 可以看出, RBTS 系统检修成本达到 805.65 万元,占到了系统总成本的 84%。

(2) 通过表 2 中 RBTS 系统各发电机的灵敏度分析分结果可以看出,系统内的大机组如 G1, G4 的灵敏度最大,系统内小机组 G5, G6 灵敏度最小。表明调整系统内大机组 C 级检修周期对系统总成本 C_{Total} 的影响最大,原因在于系统内大机组的可靠性优劣对系统充裕度影响最大,从而影响系统的停电成本,最终影响系统总成本。

(3) 此外通过 G5(节点 1), G6(节点 1) 与 G11(节点 2) 的灵敏度比较表明即使相同容量和可靠性的机组,在电网拓扑中的位置不同,对系统成本的影响也不尽相同。因此在优化调整电力设备计划检修周期时,不能单从设备本身出发进行调整,而应计入电网拓扑对系统充裕度的影响。

5 结束语

本文计及运行工况因素,构建了各类电力设备故障率函数模型,并基于役龄回退因子建立了电力设备多级检修模型;推导了系统可靠性/经济性指标关于 C 级检修周期和 A/C 级检修周期比率的解析表达式。本文计及设备检修的可靠性、经济性评估方法对 RBTS 系统进行了算例计算,结果表明该方法能较为全面有效地反映系统可靠性和经济性水平,找到可靠性水平和检修成本占系统总成本的比重,便于设备检修投入的宏观把控。

同时,通过灵敏度分析得出系统内大机组由于能显著影响系统充裕度,从而对系统总成本影响最大,改善系统经济性应该首先考虑大机组检修周期的调整。此外,电网拓扑结构也对系统充裕度有较大影响,优化调整检修周期时应该综合考虑设备本身容量和可靠性和设备在电网拓扑中的位置。

参考文献:

- [1] CHEN Y, WANG Z L, QIU J, et al. Adaptive Bathtub Hazard Rate Curve Modeling Via Transformed Radial Basis Functions [C]. International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering, 2011: 110-114.
- [2] 唐 燕, 刘 艳. 考虑电网总风险和检修收益的设备状态检修计划优化[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(9): 33-39.
- [3] SHEU S H, CHANG T H. Generalized Sequential Preventive Maintenance Policy of a System Subject to Shocks [J]. International Journal of Systems Science, 2002, 33(3): 267-276.
- [4] MARTORELL S, SANCHEZ A, SERRADELL V. Age-dependent Reliability Model Considering Effects of Maintenance and Working Conditions [J]. Reliability Engineering & System Safety, 1999, 64(1): 19-31.
- [5] DL/T 838—2003 发电企业设备检修导则[S]. 中华人民共和国国家经济贸易委员会, 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [6] DL/T 573—2010 电力变压器检修导则[S]. 国家能源局, 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [7] 段东立, 武小悦, 邓宏钟. 基于时变故障率与服务恢复时间模型的配电系统可靠性评估[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(28): 57-63.
- [8] 何 剑, 程 林, 孙元章, 等. 条件相依的输变电设备短期可靠性模型[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(7): 39-45.
- [9] IEEE Working Group for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers. IEEE Std C57.91-1995 IEEE guide for loading mineral-oil-immersed transformers[S]. 2012.
- [10] 宁辽逸, 吴文传, 张伯明. 电力系统运行风险评估中元件时变停运模型分析[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(16): 7-12.
- [11] BILLINTON R, KUMAR S, CHOWDHURY N, et al. A Reliability Test System For Educational Purposes-Basic Data [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1989, 04(3): 1238-1244.
- [12] 赵 渊, 张 煦, 杨 清. 基于可靠性成本/效益分析的电网计划检修周期优化[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(20): 54-60.

作者简介:

张 煦(1986), 男, 湖南邵阳人, 工程师, 研究方向为电力系统规划与可靠性;

张向伍(1987), 男, 河南信阳人, 工程师, 研究方向为电力系统自动化。

Analysis for the Reliability and Economic of Power System Considering Maintenance

ZHANG Xu¹, ZHANG Xiangwu²

(1.State Grid Wuxi Power Supply Company, Wuxi 214000, China;

2.Stat Grid Nanyang Power Supply Company, Nanyang 473000, China)

Abstract: Electric power equipments suffer from aging, wearing, and weather conditions in operation, the failure rate has a cumulative effect over time. Considering the main factors affecting the reliability of various electric power equipments, the time-varying failure rate model based on the operating conditions is established. On this basis, the important A-level and C-level preventive maintenance modes which have different reliability improvements in each preventive maintenance levels are built based on the effective age, and the average unavailability formulas of kinds of power equipment is derived. Then, the analytical expressions for the system reliability and economy indices are established. Finally, According to the studies on RBTS, the validity of the algorithm is verified, and the sensitivity analysis of the generator system is carried out.

Key words: operating conditions; A-level and C-level preventive maintenance; the effective age; average unavailability; the sensitivity analysis

(上接第 59 页)

Development of a Multifunctional Integrated Remote Terminal Unit for the Overseas

LI Shaoqing, CHENG Li, LIU Yonggang, XIONG Muwen, ZHANG Jianhua

(Nanjing Nari-Relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: RTU (Remote Terminal Unit) plays a very important role in the overseas automation market, and the user's function need is changing. According to the renovation of old station and building of new station in the overseas, for the needs of IO acquisition, communication access and advanced applications, a multifunction integrated RTU design is proposed in this paper. A method of object-oriented, decomposition and refinement of the function to each subsystem is used in RTU design. IO acquisition subsystem provides access to the basic function of the hard signal, communication subsystem provides more stable and large protocol libraries, and advanced application subsystem provides additional features to improve the economic operation of the power grid. The RTU terminal has been successfully applied in Singapore and the operation is reliable and stable. The proposed RTU can meet the needs of users.

Key words: oversea; RTU; multifunction; subsystem