

考虑 TSC 提升的配电网区域机会维修模型

穆 斌, 刘 艳

(华北电力大学 电气与电子工程学院, 河北 保定 071003)

摘要: 基于状态检修中设备性能要求与系统可靠性要求之间的矛盾, 在传统状态检修的基础上, 提出一种考虑最大供电能力(TSC)提升的配电网区域机会维修模型。提出一种区域机会维修模型以确定检修区域, 该模型综合考虑设备个体性能、系统可靠性要求、设备间的关联、系统网络结构等关键因素, 在此基础上, 提出一种以 TSC 提升为目标函数的负荷转移模型, 该模型通过节点深度编码(NDE)技术与遗传算法(GA)相结合的优化算法优化网络结构来得到满意的重构网络。以 IEEE 33 节点系统为例验证了所提算法提升 TSC 的有效性, 以 RBTS Bus2 可靠性测试系统为例验证了考虑 TSC 提升的区域机会维修模型的有效性、实用性和科学性。

关键词: 区域机会维修; TSC; NDE-GA; 状态检修; 配电网; 模型

中图分类号: TM 315

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2018.03.007

0 引言

电力系统可靠性是指电力系统按可接受的质量标准和所需数量不间断地向电力用户供应电能和电量的能力, 主要从充裕度和安全性方面进行评估^[1], 配电网作为与用户直接相连的部分, 其可靠性随着用户对供电可靠性的要求越来越受到挑战, 一些配电网设备的故障往往造成用户的电量不足或者直接停电, 因此, 合理的配电网检修计划是一项科学安排用户用电需求和提高供电可靠性的重要内容。

关于设备状态检修决策, 当前的研究大多是针对设备个体展开的, 而且主要是基于设备故障产生的风险理论研究。文献[2]利用比例故障率模型研究了电力变压器更换策略, 以单位时间运行成本最小为目标求解变压器最优更换门槛值。文献[3]分析了设备不同劣化状态对应的检修方式、检修频率对设备检修成本和设备可用度的影响, 然后以设备长期运行成本最小为目标, 应用策略迭代算法对设备检修策略进行优化。文献[4]建立二次设备综合能效指标和高灵敏度成本指标, 以效能评估结果和成本容忍度为运维决策判据, 提出能效-成本及灵敏度分析的二次设备优化运维模型。

仅仅以设备的个体性能为目标来研究状态检修, 显然是不合理的, 因此一些研究通过风险理论来量化设备停运检修对配电网系统的影响, 文献[5]在设备故障率预测的基础上, 将设备状态检修与电网运行规律相结合, 给出设备故障风险和电网运行风险的数学表达, 并以两者之和最小为目标, 构建设备状态检修优化模型。文献[6]提出一种基于最小累积风险度的电网等风险检修决策模型, 模型通过风险追踪的方法确定待检修设备对电网风险的贡献程度, 最后确定电网风险均衡和总风险最小下的设备检修方案。文献[7]计算断路器单次检修后平均

剩余无故障工作时间作为下一个检修优化区间, 以检修优化区间内预防性检修费用、故障检修费用和停电损失之和最小为目标函数, 制定综合考虑可靠性与经济性的检修策略。但是此类风险研究并未真正意义上探究设备检修对系统整体的影响, 因此文献[8]从电网运行角度, 综合考虑设备个体性能、设备间的关联以及电网运行给出了状态检修新理论。文献[9]引入关联集来反映设备检修与系统运行间的牵制关系, 同时建立系统检修风险和故障风险之和最小为目标函数的检修决策模型。文献[10]深入研究故障间相互关联引起的风险对设备检修决策的影响, 并融入设备突发性故障情景的处理, 提出设备机会维修决策的数学模型。

上述文献虽然考虑了设备个体性能、设备间的关联性及设备检修对系统的影响, 但都是基于设备检修对系统运行安全风险方面的研究, 大多是建立在一定的故障概率基础上发生故障时的经济损失指标, 但就设备检修对系统运行稳定性、负荷供电能力优化、系统整体电量不足的影响等并没有建立相应的模型并进行分析, 即未探究设备状态检修对系统可靠性要求的负荷指标的影响。配电网系统是一个由相互关联的电力设备组成的有机整体, 设备之间存在相互关联, 因此在研究配电网检修决策时, 要在设备性能和系统可靠性需求的平衡点, 寻求一个满足设备与系统要求的折中检修策略。

不同的检修方案对系统的供电能力影响不同, 因此本文在检修决策中引入最大供电能力(TSC)作为评价系统整体性能的指标, 一方面在检修中提升配电网的负荷供电能力, 另一方面也反映设备检修方案对系统整体的影响。本文首先提出区域机会维修模型, 该模型考虑了设备个体性能、系统可靠性要求、设备之间的关联性、系统网络结构和检修设备的合理组合等关键因素来确定检修区域, 其次在检修区域的基础上建立以 TSC 提升为目标函数的负荷转

移模型,并通过节点深度编码(NDE)技术与遗传算法(GA)相结合的算法进行优化求解。

1 考虑 TSC 提升的区域机会维修模型

1.1 设备个体要求与系统整体可靠性需求

状态检修是根据设备自身健康状况,同时依据一定的健康阈值来决策安排设备检修的检修方式,即状态检修是针对设备个体的,但是从系统运行的角度来看,设备检修与故障是一对矛盾,即设备检修与系统运行存在矛盾关系,另一方面,设备与系统存在各种联系,即设备个体需求与系统总体可靠性要求又存在着牵制关系,具体从以下几个方面分析。

第一,对于设备个体而言,希望自身多加、及时地检修,提高健康状态,减少故障,但对于系统而言,希望保证一定的系统可靠性和运行稳定性,尽量合理、最优、较少地检修;第二,个体设备主要故障类型有突发性(恶劣的天气、负荷和电压等越限所致)和劣化故障(主要是设备随时间的累积效应产生的),针对这2类故障可以单独检修以提高设备自身的性能,但是检修意味着负荷转移或者停电,对系统的正常运行造成影响;第三,设备之间存在着功能联系,设备与系统之间也存在各种功能关联,设备的载重能力和可靠性与系统的检修运行策略有关,不同的检修方案,设备的性能和系统运行的状况不同,合理的检修与运行方案可以平衡两者性能;第三,设备的检修顺序、检修时机对系统的电能质量、运行稳定性和可靠性影响不同。因此就状态检修而言,设备自身的可靠性需求和系统整体可靠性需求、运行稳定性是一个需求的偏好决策问题。

1.2 设备健康状态值的求取

依据国家电网公司颁布的 Q/GDW 645—2011《配网设备状态评价导则》,通过完整的状态评价体系可以得到评估设备的精确健康指数,但是在检修周期内需要对设备的健康指数做出合理科学的预测,因此本文应用文献[11]的一个经验公式,以设备老化原理为基础同时考虑时间变化的影响,采用“役龄回退因子 a ”的方法推算故障前后健康指数的变化,具体公式为:

$$100 - H_1 = (100 - H_{10})e^{B\Delta T} \quad (1)$$

$$100 - H_1 = a(100 - H_{10})e^{B\Delta T} \quad (2)$$

其中, H_{10} 为设备上上次评估的健康指数; B 为设备老化系数; ΔT 为距上次评估所跨越的时间; a 为役龄回退因子。

故障前检修设备健康指数的推算:检修可以提高设备健康水平、降低设备的故障率,故 a 取值为0.7。故障后维修设备健康指数的推算:维修不会对设备的健康水平和故障率产生影响,故 a 取值为1。

目前在智能电网的推动下,随着设备质量、设备

状态监测技术和故障诊断技术的高科技发展,一般对设备的完全更换比较少,现场对设备的检修方式大多是针对设备(变压器、断路器、线路)进行设备组件维修,因此本文对待检修设备的选取是根据当前状况下设备的状态,把当前的设备健康指数作为门槛值,来确定待检修设备集,同时部分设备检修会以设备组件的健康值来评判进行机会维修。

1.3 考虑 TSC 提升的区域机会维修模型

机会维修是指在系统某一设备故障或进行预防性检修时,对其他待检修的设备也一起进行检修^[12],它将设备故障后检修与预防性检修相结合,由于配电网系统设备间存在串联的逻辑关系,同时考虑目前电网实际的检修过程更多的是部件检修,因此,不同的机会维修组合,一方面可以合理利用检修资源,科学安排检修组合同时检修,提高检修效率,另一方面可以整体提高系统的运行稳定性、可靠性。考虑到设备和系统可靠性需求的矛盾与牵制关系,引入 TSC 作为系统的可靠性指标。基于状态检修的已有研究,本文首先提出区域机会维修模型。

1.3.1 区域机会维修模型

区域机会维修模型的核心思想是确定检修区域,兼顾设备性能与系统可靠性的需求,同时考虑检修资源的合理配置。

基于设备的信息,依据国家电网公司颁布的 Q/GDW 645—2011《配网设备状态评价导则》,通过完整的状态评价体系可以得到评估设备的精确健康指数,分析设备的状态评价报告,得出设备的主要故障部件。基于检修阈值得到准待检修设备集,考虑系统可靠性的需求确定待检修集,考虑网络结构、系统可靠性、设备个体性能、检修人力约束、设备个体之间关联、检修设备的合理配置等确定检修区域。具体如下:

a. 某一设备健康状态虽然满足待检修设备,但处于系统关键部分,如果检修,会引起大范围停电或者负荷转移,此设备宜单独检修,同时避开别的设备检修时间;

b. 处于检修区域的设备,若设备关联,如变压器和连接线路应该同时检修;

c. 虽然设备处于检修区域但不满足检修阈值,可以根据设备情况进行部分维修;

d. 检修区域的划分应该使得停电损失最小,同时检修区域的设备数目满足检修能力约束;

e. 同一检修时间不宜安排过多检修区域,若条件允许可以大检同时优化负荷供电能力,提高系统可靠性。

本文的检修区域依据以上的条件,通过检修时断开开关集 KAI 显示,按照以上分析,数学上本文检修区域 N 由待检修设备的健康阈值 K、待检修设备

的数目 S 、检修区域的停电损失 L 确定,通过分析加入部分约束条件(如系统可靠性要求、检修资源合理配置、网络结构等)即可,不作数学约束。其中待检修设备的数目 S 由健康阈值决定,本文根据实际劣化设备的健康值确定,一般数目不要超过 4 个。检修区域决定目标函数 F 为:

$$F = \min \sum_{x \in N} L = \min \sum_{x \in N} P_x(t) T_x C_R \quad (3)$$

约束条件为:

$$H_{ix} \leq K \quad (4)$$

$$N_t \leq M_t \quad (5)$$

其中, N 为检修区域; P_x 为设备 x 故障引起的单位时间失负荷; T_x 为负荷停电持续时间,具体为故障恢复时间、备用电源投入时间或者倒闸操作时间; C_R 为随机失负荷单位电价; H_{ix} 为设备 x 当前健康值; K 为待检修设备健康阈值; N_t 和 M_t 分别为 t 时段的实际检修数量和允许检修设备数量。

1.3.2 考虑 TSC 提升的区域机会维修模型

基于以上提出的区域机会维修模型,在检修的同时一方面不得不面临负荷转移,另一方面也可以主动重构网络来提升系统负荷供电水平,保证负荷充裕度,因此本文在检修的同时进行网络结构优化主动重构来提升系统最大供电能力,通过网路拓扑和设备状态分析科学地优化开关状态进行负荷转移,负荷转移模型是建立在区域机会模型中检修区域的基础上,本文通过 NDE 技术与 GA 相结合(简称 NDE-GA 算法)来实现模型的优化,以提升 TSC 为目标函数,同时考虑配电网的一些约束条件,具体见下面的负荷转移模型。

2 基于 NDE-GA 算法的 TSC 提升负荷转移模型

TSC 指一定供电区域内配电网在满足 $N-1$ 安全准则条件并考虑网络转带以及实际运行约束下的最大负荷供应能力^[13]。配电网的 TSC 主要由其运行方式、拓扑结构和负荷的增长模式决定,配电网可以通过改变配网联络开关和分段开关的状态来改变配电网的拓扑结构及电网运行方式,提高系统 TSC。本文主要针对检修时的配电网,通过 NDE 技术进行拓扑寻优来优化网络拓扑结构,来始终保证配电网的辐射状约束,把 NDE 技术引进到 GA 中,代替 GA 中的交叉和变异操作,形成 NDE-GA 算法来实现开关状态的寻优,以此实现检修时通过最优重构方案提高 TSC,提高负荷的供电充裕度,并减小越限负荷的比例。

2.1 TSC 模型

TSC 模型以 TSC 为目标函数,以 $N-1$ 安全校验为约束条件,包括待检修设备集约束、主变容量约束、网络拓扑约束、联络极限容量约束以及节点电压

约束。本文的 TSC 目标函数是建立在一定的检修区域,即开关集 KAI 的基础上,目标函数为:

$$\max \text{TSC} = T_p + \sum_{j=1, j \in T_1}^n L_j \quad (6)$$

约束条件如下。

a. 待检修设备集约束。待检修设备集中待检修设备所在馈线开关优化服从系统可靠性要求原则,即不加入优化。

b. 馈线极限容量约束:

$$t_{rtkk} + F_k \leq R_{Fk} \quad (7)$$

c. 联络线容量约束:

$$t_{rtkk} \leq R_{Fp} \quad (8)$$

d. 节点电压约束:

$$U_{\min} \leq U \leq U_{\max} \quad (9)$$

e. 潮流约束:

$$A\mathbf{i} = \mathbf{I} \quad (10)$$

f. 支路容量约束:

$$i_k \leq i_{k\max} \quad (11)$$

其中, T_p 为 TSC 时主变的实际负荷; T_1 为配电网网络带电区域; j 为负荷点设备编号, n 为区域 T_1 内的设备总数; L_j 为 TSC 时的各个负荷点的负荷; t_{rtkk} 为线路 h 转移到线路 k 的负荷量; F_k 为馈线 k 的实际带负荷量; R_{Fk} 为馈线 k 的极限容量; R_{Fp} 为联络线 p 的极限容量; U_{\max} 、 U_{\min} 分别为节点电压的上、下限; A 为节点/支路关联矩阵; \mathbf{i} 为所有支路的复电流矢量; \mathbf{I} 为所有节点的复电流注入矢量; i_k 、 $i_{k\max}$ 分别为各支路流过的电流和允许的最大载流量。

2.2 NDE-GA 算法

传统智能算法在网络寻优中已被广泛应用,但寻优过程中需对新的网络结构进行拓扑分析,并随机断开开关解除环网,来保证配电网的辐射状约束,这增加了寻优时间,基于此, NDE^[14-15] 依据网络的线路信息和节点信息通过节点深度优先搜索,将线路开断信息转化为节点的矩阵表达,通过切割树操作和嫁接操作对拓扑网络进行寻优,可以始终保证配电网网络的辐射状结构,其基本的操作为保留初始节点操作 (PAO) 和改变初始节点操作 (CAO)。在本文单目标优化过程中,将 NDE 技术引入传统 GA 中,一方面保证优化过程中网络的辐射状约束,另一方面通过 NDE 技术代替 GA 中的交叉和变异,可以达到本文所需的优化网络开关的目的。

3 模型求解流程

基于 NDE-GA 算法的考虑 TSC 提升的配电网区域机会维修模型具体过程如下。

a. 输入配电网系统信息和当前设备健康状态;

- b. 基于设备健康阈值,确定待检修设备集,确定带检修区域,即确定开关集 KAI;
- c. 基于确定开关集 KAI,形成 GA 搜索空间,随机生成初始种群 R_1 ;
- d. 基于 TSC 目标函数模型,计算初始目标适应值 R ,同时判断是否满足约束条件,若否返回步骤 c,否则继续;
- e. 基于精英策略选择优胜个体形成新的种群 R_2 ;
- f. 随机选择 R_2 中的 2 个个体,按照一定概率进行 NDE 操作,生成子代种群 S ;
- g. 基于目标函数模型、 R_2 和 S ,同时判断约束条件,确定新的 R ;
- h. 判断是否满足终止条件,若是,输出最优解集,否则返回步骤 d。

4 算例分析

4.1 NDE-GA 算法在配电网 TSC 提升的验证

算例 1 选用 IEEE 33 节点系统^[17]如图 1 所示,该系统的额定电压为 12.66 kV,其包含 33 个节点、37 条线路、5 个联络开关(图 1 中虚线线路 L_{33} — L_{37}),初始状态为全部断开,其余线路闭合,主馈线电流上限为 595 A,其他详细参数见文献[17]。依据本文中所提的 TSC 负荷转移模型,采用 NDE-GA 算法验证该方法的可行性,假设断开线路 9-10,以 max TSC 为目标函数,通过优化联络开关和分段开关的状态,在满足一定约束条件下,找到使得 TSC 最大时的最优开关状态。GA 种群规模设为 50,最大迭代次数设为 50。

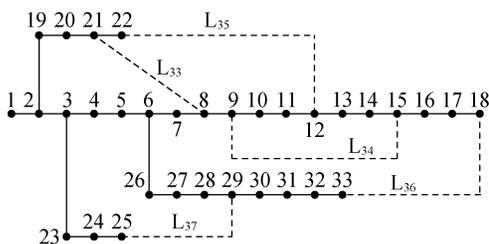


图 1 IEEE 33 节点配电系统

Fig.1 IEEE 33-bus distribution system

基于 NDE-GA 算法得到的网络开关开断情况、max TSC 和网损情况如表 1 所示,优化网络如图 2 所示。

表 1 基于 NDE-GA 算法 TSC 优化结果对比
Table 1 Comparison of TSC optimization results based on NDE-GA algorithm

情况	负荷/ (kV·A)	max TSC/ (kV·A)	网损率/%	开关开断情况
重构前	4 369.4	4 974.3	1.78	断开 9-10
重构后	4 369.4	6 638.5	1.69	断开 14-15、28-29、 32-33,闭合 L_{35} 、 L_{34} 、 L_{36} 、 L_{37}

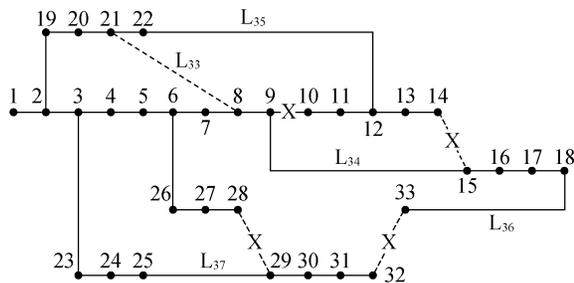


图 2 基于 NDE-GA 优化最大 TSC 网络重构图

Fig.2 Network reconfiguration with maximum TSC based on NDE-GA optimization

表 1 中数据显示本文中的 NDE-GA 算法可以使得 TSC 提升 1.34 倍,网损减小 5.1%,说明这种算法可以优化网络结构来提升 TSC,同时可以始终保证配电网辐射状约束。NDE-GA 算法避免了传统智能算法每次优化分析网络结构的缺点,减少了寻优时间,并提供了收敛速度,具体如图 3 所示,由图可知算法收敛速度快,而且刚开始 TSC 就提升到很大,迭代到 16 次左右 TSC 的提升基本趋于稳定,22 次达到稳定状态,即趋于收敛。

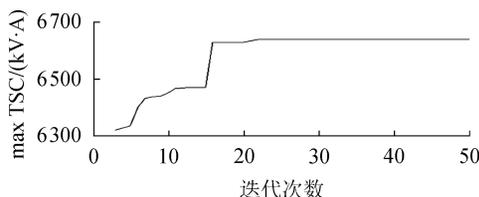


图 3 基于 NDE-GA 优化的迭代次数影响 TSC

Fig.3 Influence of iteration times on TSC based on NDE-GA optimization

4.2 可靠性测试系统 RBTS Bus2

为了验证本文基于 TSC 提升的区域机会维修模型,选用 RBTS Bus2 系统为例进行仿真测试,该系统比较真实地模拟了配电网的情况,其含有 22 个负荷点,主馈线上有 14 个节点、12 个分段开关、2 个联络开关,其他详细参数详见文献[18],各设备的健康状态详见文献[7],从各设备的当前健康指数可以看出,部分设备的健康值明显偏低,如设备 L_2 、设备 TLP_4 、设备 TLP_{12} 等,部分设备的健康指数在图 4 粗体标出。

基于 NDE-GA 算法提升 TSC 的方法有效性算例 1 已经验证,基于此,本算例设置 GA 种群规模 50,迭代次数 30,本文的检修是基于设备实际状态评价,设备健康指数集如表 2 所示,其中设备 TLP_3 的健康值为 83,但是发现它的健康状态差并不是变压器整体存在问题而是由其压力释放阀有渗漏、发生过误动造成的,即影响设备 TLP_3 健康状态主要是由部分部件造成的。

本文确定设备健康阈值为 70,即低于 70 的进入准待检修集 $Z = \{L_2, TLP_1, TLP_4, L_{11}, TLP_{11}, TLP_{12}, L_{29}\}$,基于本文提出的检修区域确定方法得到待检

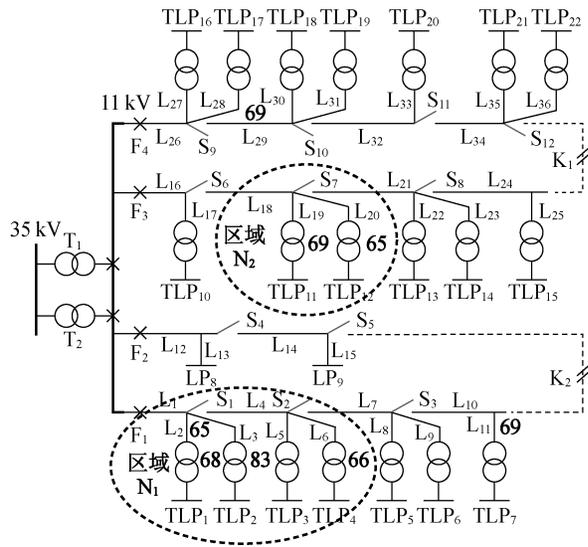


图 4 RBTS Bus2 配电系统

Fig.4 RBTS Bus2 distribution system

表 2 部分设备健康状态值

Table 2 Health status value of partial equipments

设备	健康指数	设备	健康指数	设备	健康指数
L ₂	65	TLP ₄	66	L ₁₉	80
TLP ₁	68	L ₇	78	TLP ₁₁	69
L ₄	72	TLP ₆	73	TLP ₁₂	65
L ₅	78	L ₁₁	69	TLP ₁₈	74
TLP ₃	83	L ₁₈	76	T ₂₉	69
LP ₇	82	L ₁₉	80	L ₃₂	80
L ₁₂	76	L ₂₃	71	L ₃₆	78

修集 $C = \{L_2, TLP_1, TLP_4, TLP_{11}, TLP_{12}\}$, 形成如图 4 所示的检修区域 N_1 和 N_2 , 同时由于设备 TLP_3 也是部分部件不良, 也进入检修区域 N_1 , 具体如图 4 所示。虽然设备 L_{11} 和设备 L_{29} 健康状态也低, 但考虑系统可靠性和系统停电损失的影响, 并未进入检修设备集, 这也是本文考虑到设备自身性能与系统可靠性需求矛盾的优化决策结果。

已经形成的检修区域 N_1 和 N_2 , 考虑到设备的健康状态对设备采用不同的检修方式, 比如设备 TLP_3 仅仅检修其压力释放阀即可, 其他严重的设备可能面临大修。基于检修区域 N_1 和 N_2 , 即得到区域检修的开关集 $KAI = \{S_6, S_7, S_1, S_2\}$ 。同时基于设备 L_{29} 的网络位置, 考虑系统可靠性要求, 开关 S_9, S_{10} 不参与优化, 然后按照本文提出的 NDE-GA 算法进行优化网络结构, 同时提升系统的 TSC 得到结果如表 3 所示。

表 3 考虑 TSC 提升的区域检修优化结果

Table 3 Results of regional maintenance optimization considering maximum TSC

情况	max TSC/ (kV·A)	开关开断情况
检修前	18.6	断开 S_6, S_7, S_1, S_2 , 闭合 K_1, K_2
检修后	25.7	断开 S_{11}, S_3 , 闭合 $S_6, S_7, S_1, S_2, K_1, K_2$

通过本文所提的考虑 TSC 提升的区域机会维修模型和模型优化结果可以看出, 本文的模型一方面检修时可以兼顾设备性能与系统可靠性, 比如对设备 L_{29} 而言, 设备自身健康值满足检修阈值, 但考虑到若此设备检修, 则系统的可靠性和停电损失面临比较大的影响, 并未进入检修区域。另一方面通过检修区域的确定和优化开关状态, 也在检修的同时提升了系统的 TSC, 提高了负荷的充裕度并减少了负荷越限的发生, 优化结果显示关闭 K_1 和 K_2 , 断开 S_{11} , 减少了由于设备 L_{29} 性能差影响系统可靠性的程度, 同时通过负荷转移减少一些设备的供电压力。设备 TLP_3 加入检修区域也说明本文模型兼顾了检修的经济性和检修资源的优化配置。对于设备 L_{29} 这种类型设备本文单独安排检修, 同时避开区域检修时间。

从模型中核心思想是确定检修区域和算例结果表明, 此模型相对以往模型有以下优势, 以文献 [7] 中检修决策结果为例。

a. 文献 [7] 决策结果仅仅是以单个设备性能为选择门槛标准, 本文形成的检修区域综合考虑了设备个体性能、设备之间的检修组合、检修设备的合理配置。

b. 文献 [7] 的检修决策是站在风险理论的角度考虑, 具体而言是考虑设备故障率基础上的预测结果, 而本文是基于当前设备的状态评价体系下的健康指数, 更具实用意义。

c. 相比于已有检修文献的检修时间段比较多, 设备安排复杂, 检修工作繁忙, 本文的区域机会维修更能够科学合理配置检修设备集, 形成检修组合进行检修, 避免安排过多的检修时间。

d. 本文的区域机会维修对一些健康状态差但影响系统供电可靠性大的设备进行单独检修, 保证了系统供电连续性。

e. 本文模型在传统检修模型中引入 TSC 指标, 一方面在检修的同时提升 TSC, 另一方面通过优化开关状态来提高系统供电充裕度和供电可靠性。

以上 2 个算例表明, 本文的 NDE-GA 算法在优化网络结构中具有可行性, 不仅能保证配电网始终满足辐射状约束, 还可以实现提升 TSC。所提出的区域机会维修模型能够恰好地考虑设备性能要求与系统可靠性需求的矛盾, 同时检修资源的合理配置也提高了检修的准确性、经济性和实用性, 在检修的同时优化网络结构来提升系统 TSC, 也提高了设备的供电充裕度。因此, 本文提出的考虑 TSC 提升的区域检修模型具有可实现性和合理性。

5 结语

本文基于设备性能要求与系统可靠性需求的角度, 首先提出区域机会维修模型, 模型综合考虑网络结构、设备个体性能、系统可靠性需求、设备之间的

关联性、检修资源的合理配置等关键因素,来确定检修区域,具有可行性和合理性;其次本文在检修的同时通过采用NDE-GA算法优化网络结构来提升系统TSC,提高设备的供电充裕度,算例验证了算法的合理性和有效性。本文考虑TSC提升的区域机会维修模型科学地利用设备的当前健康指数,避免传统研究的故障率模型,更接近实际电网检修,对电网企业检修的实际开展更具有指导意义。

需要指出的是,第一,本文模型中的设备健康指数是当前评价体系下的,后续将从设备性能的在线跟踪、实时评估展开研究,使得研究更贴近实际配电网检修,便于指导检修计划实施;第二,本文配电网区域机会维修模型中一些约束条件假设化,后续将从一些实际地区配电网出发,深入研究设备与系统的内在联系,同时结合当地的检修资源配置,进一步改进区域机会维修模型,使得本文的研究更具有实际指导意义。

参考文献:

- [1] 郭永基. 电力系统及电力设备的可靠性[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(17): 53-56.
GUO Yongji. Reliability of power system and power equipment[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(17): 53-56.
- [2] WU X, RYANS M. Optimal replacement in the proportional hazards model with semi-Markovian covariate process and continuous monitoring[J]. IEEE Transactions on Reliability, 2011, 60(3): 580-589.
- [3] MARSEGUERRA M, ZIO E, PODOFILLINI L. Condition-based maintenance optimization by means of genetic algorithms and Monte Carlo simulation[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2002, 77(2): 151-165.
- [4] 王玉磊, 应黎明, 陶海洋, 等. 基于效能-成本的智能变电站二次设备运维策略优化[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(6): 182-188.
WANG Yulei, YING Liming, TAO Haiyang, et al. Optimization of operation and maintenance strategy for secondary equipment in intelligent substation based on efficiency and cost[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(6): 182-188.
- [5] 潘乐真, 鲁国起, 张焰, 等. 基于风险综合评判的设备状态检修决策优化[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(11): 28-32.
PAN Lezhen, LU Guoqi, ZHANG Yan, et al. Decision-making optimization of equipment condition-based maintenance according to risk comprehensive evaluation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(11): 28-32.
- [6] 袁野, 王慧芳, 应高亮, 等. 基于最小累积风险度的电网等风险检修决策[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(11): 151-155.
YUAN Ye, WANG Huifang, YING Gaoliang, et al. Equal risk maintenance decision for power grid based on minimum cumulative risk[J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(11): 151-155.
- [7] 熊小伏, 刘松, 张南辉, 等. 计及检修过程随机性影响的断路器检修决策方法[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(10): 127-133.
XIONG Xiaofu, LIU Song, ZHANG Nanhui, et al. Circuit breaker maintenance strategy considering influence of maintenance process randomness[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(10): 127-133.
- [8] 李明, 韩学山, 杨明, 等. 电网状态检修概念与理论基础研究[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(34): 43-52.
LI Ming, HAN Xueshan, YANG Ming, et al. Basic concept and
- theo-retical study of condition-based maintenance for power transmission system[J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(34): 43-52.
- [9] 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.
- [10] 徐波, 韩学山, 李业勇, 等. 电力设备机会维修决策模型[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(23): 6379-6388.
XU Bo, HAN Xueshan, LI Yeyong, et al. Decision making model of electric equipment maintenance[J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(23): 6379-6388.
- [11] 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. Prediction of electrical equipment failure rate for condition-based maintenance decision-making[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(2): 91-94.
- [12] BERG M. Optimal replacement policies for two-unit machines with increasing running costs[J]. Stochastic Processes & Their Applications, 1976, 4(1): 89-106.
- [13] 肖峻, 谷文卓, 郭晓丹, 等. 配电系统供电能力模型[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(24): 47-52.
XIAO Jun, GU Wenzhuo, GUO Xiaodan, et al. Total supply capability model for distribution systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(24): 47-52.
- [14] 黄弦超, Gareth TAYLOR. 基于节点深度编码技术的配电网故障恢复[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(6): 40-44.
HUANG Xianchao, Gareth TAYLOR. Fault recovery of distribution network based on node depth coding[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(6): 40-44.
- [15] HUANG X, TAYLOR G. Service restoration of distribution networks based on node-depth encoding technique[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(6): 40-39.
- [16] 段玉倩, 贺家李. 遗传算法及其改进[J]. 电力系统及其自动化学报, 1998(1): 39-52.
DUAN Yuqian, HE Jiali. Genetic algorithm and its improvement[J]. Automation of Electric Power Systems, 1998(1): 39-52.
- [17] SONG Y H, WANG G S, JOHNSA T, et al. Distribution network reconfiguration for loss reduction using fuzzy controlled evolutionary programming[J]. IEEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution, 1997, 144(4): 345-350.
- [18] ALLAN R N, BILLINTON R, SJARIEF I, et al. A reliability test system for educational purposes-basic distribution system data and results[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1991, 6(2): 813-820.

作者简介:



穆斌

穆斌(1992—),男,甘肃平凉人,硕士研究生,主要研究方向为配电系统可靠性与配电网状态检修(E-mail: 18733818105@163.com)

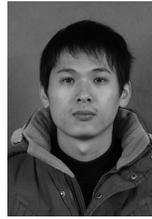
刘艳(1973—),女,河北保定人,教授,博士,主要研究方向为电力系统安全防护与恢复技术、智能技术在电力系统中的应用、状态检修等。

(下转第62页 continued on page 62)

CA, USA: IEEE, 2010: 432-437.

- [19] David Salomon. 数据压缩原理与应用[M]. 吴乐南, 译. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2003: 92-103.
- [20] CONRAD K J, WILSON P R. Grammatical ziv-lempel compression: achieving PPM-class text compression ratios with LZ-class decompression speed[C]//Data Compression Conference. Snowbird, UT, USA: IEEE, 2016: 586-586.
- [21] 屈志坚, 郭亮, 陈秋琳, 等. Hadoop 云构架的智能调度无损集群压缩技术[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(18): 93-98.
- QU Zhijian, GUO liang, CHEN Qiulin, et al. Intelligent dispatching lossless cluster compression technology based on Hadoop cloud framework[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(18): 93-98.

作者简介:



屈志坚

屈志坚(1978—), 男, 江西南昌人, 副教授, 博士, 主要研究方向为智能监控理论与信息处理技术(E-mail: 08117324@bjtu.edu.cn);

徐振清(1992—), 男, 山东菏泽人, 硕士, 研究方向为电力自动化智能监控技术;

周锐霖(1994—), 男, 湖南衡阳人, 硕士研究生, 研究方向为配电自动化监控信息技术;

朱丹(1995—), 男, 贵州安顺人, 硕士研究生, 研究方向为配电网调度自动化技术。

Range encoding normalization compression processing for distribution network monitoring data pack with column storage

QU Zhijian¹, XU Zhenqing², ZHOU Ruilin¹, ZHU Dan¹

(1. School of Electrical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

2. CRRC Qingdao Sifang Co., Ltd., Qingdao 266000, China)

Abstract: Aiming at the continually increasing large data sets and the difficulty of improving compression ratio caused by the increasing data storage mode by rows in distribution network, a new compression method for large distribution network monitoring data is proposed based on the data pack structure of column storage and the normalization processing of extended range encoding. Taking column data pack as underlying storage and knowledge grid as organization structure, the range encoding and normalization are integrated into the parallel compression process of the underlying monitoring data pack. Taking the distribution network monitoring data of Beijing train set depot section as an example, the column data pack range encoding normalization compression test is carried out. Simulative results show that the normalization of extension range encoding technology can increase the compression ratio of monitoring information to 94%, the compression effect is better than the existing cloud computing cluster, and the engineering application requirements of encoding the massive monitoring information in the infinite interval can be realized by dynamically adjusting the mapping range.

Key words: distribution network; monitoring data; column compression; range encoding; normalization; data processing; data compression; information handling

(上接第 55 页 continued from page 55)

Regional opportunistic maintenance model for distribution network considering improvement of total supply capability

MU Bin, LIU Yan

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

Abstract: Aiming at the contradiction between the performance requirements of equipments and the reliability requirements of the system during the condition-based maintenance, a regional opportunistic maintenance model for the distribution network is proposed based on the traditional condition-based maintenance, which considers the improvement of TSC(Total Supply Capability). A regional opportunistic maintenance model is built to determine the maintenance area, which comprehensively considers the key factors, i.e. individual performance of equipment, reliability requirement of system, correlation between equipments, system network structure, etc. On this basis, a load transfer model with the improvement of TSC as its objective function is built, which optimizes the network structure by the algorithm combining NDE(Node-Depth Encoding) and GA(Genetic Algorithm) to obtain the satisfactory reconstruction network. IEEE 33-bus system is taken as an example to verify the effectiveness of the proposed algorithm in improving TSC, and the effectiveness, practicality and scientificness of the proposed model is verified by RBTS Bus2 reliability test system.

Key words: regional opportunistic maintenance; TSC; NDE-GA; condition-based maintenance; distribution network; models