

「开关柜」

基于风险评估的10 kV开关柜状态检修技术研究

文/上海南华兰陵电气有限公司 孙 乾

10 kV开关柜在电力网络中有着至关重要的作用，其发生的故障往往会影响系统的正常运行，可能导致大规模的停电，为社会及供电企业带来巨大的经济损失。目前，国内对于开关柜的运行维护仍然是传统的事后检修和计划抢修相结合的方式，但这已经不再适应对供电质量要求日益提高的现有供电环境。因此，从开关柜风险评估的角度出发，研究了10 kV开关柜的状态检修技术，在现场运维的基础上采用专家打分法建立了10 kV开关柜的风险评估模型，并基于开关柜的风险评估值对待评估的开关柜进行检修模式确认，建立了检修策略。所提出的10 kV开关柜状态检修方案计及了开关柜的运行状态、使用年限等特征信息，能够较好地评估开关柜的风险水平，对风险较高的开关柜采取相应的检修手段，有效降低故障率。

随着电力系统的不断发展，供电企业对供电质量、供电可靠性的要求越来越高，作为电力系统中的重要组成设备，10 kV开关柜的可靠运行对整个电力系统的稳定、安全运行具有重要意义。10 kV开关柜的主要故障包括了拒动、误动和绝缘故障等，每一个故障都可能造成开关柜不能正常运行，进而导致供电的中断，因此，针对10 kV开关柜的各类故障，有效的检修维护策略是非常重要的，其对整个电力系统及其供电具有很大的意义。

目前，10 kV开关柜的检修方式主要以事后检修和计划检修为主。其中，事后检修指的是当设备发生故障或其他失效时进行的非计划性维修；计划检修指的是以时间为依据，周期性地对设备进行检修维护，使设备在正常工作中能够防止或延迟故障。但是，目前所采用的检修方式已经无法适应电力系统的发展：一方面，事后检修不能有效地降低设备的故障率，对电力系统的稳定运行有阻碍作用；另一方面，计划检修不可避免地会产生检修过剩的现象，不但造成人力、物力和财力的浪费，甚至会引发维修故障。因此，研究

一种适应于现今电力系统发展的10 kV开关柜检修策略是具有积极意义的。

状态检修是电力设备的预防性检修方式，它通过对设备的运行状态进行监测、分析，评价设备的运行水平，有选择性地对设备进行检修计划安排，具有预防故障的能力，同时还能达到优化检修方式的目的，相比于目前普遍采用的事后检修和计划检修，其具有更好的检修维护效益。从风险评估的角度出发，通过专家打分法建立了10 kV开关柜的风险评估模型，并在模型的基础上，制定了10 kV开关柜的状态检修策略。

状态检修

状态检修是以设备当前的工作状态为检修依据，通过监测手段，诊断设备的健康状态，确定设备是否需要检修并获得最佳检修时机的一种检修方式。通过状态检修，可以减少设备停运时间，提高设备可靠性，延长设备寿命，降低运行检修成本，改善设备运行性能，提高设备运行经济效益。

状态检修的主要框架如下所示。

1) 获取设备的基础资料, 如投运时间、设备元器件和故障发生情况等。

2) 通过现场监测等手段获取设备的实时运行数据, 评价设备元器件的健康状态。

3) 建立并计算反映设备各个元器件的运行水平的特征参数。

4) 得到设备整体的运行状态, 量化设备的运行健康水平。

5) 制定针对设备运行健康水平的检修策略。

6) 根据所制定的检修策略判断设备是否采取检修手段, 并给出相应的检修建议。

状态检测有两个主要功能: 一是及时发现设备缺陷, 做到防患于未然; 二是为主设备的运行管理提供方便, 为检修提供依据, 减少人力、物力的浪费。

从上述的简介, 可以看出: 为了实现状态检修, 应具备两方面的技术内容, 一是需要建立能够评价设备运行状态的评估模型, 二是制定基于评估模型的检修策略。本文的主要内容也是对这两方面进行研究: 从风险评估的角度建立了10 kV开关柜的评估模型, 并制定了相应的10 kV开关柜状态检修策略。

10 kV开关柜的风险评估模型

1. 风险评估

风险理论是一种考虑系统不确定性因素, 将导致事故的可能性和这种事故的严重度相结合的理论。设备的风险评估即是针对设备发生故障的可能性和故障的严重程度进行评估, 并由此得出设备整体的风险水平。

由此可见, 风险评估的基本式可由式(1)表示。

$$Risk = f(P_i, S_i) \quad (1)$$

式中, $Risk$ 是评估对象的风险评估值; P_i 是评估对象的第 i 类故障发生的概率; S_i 是评估对象的第 i 类故障造成的严重程度。

因此, 下文中将10 kV开关柜风险评估模型中涉及到的故障发生概率和故障的严重程度这两个部分分别进行研究并确定计算方法, 并据此建立起整体的10 kV开关柜风险评估模型。

2. 10 kV开关柜风险评估模型中故障发生可能性的确定

10 kV开关柜是在电力系统进行发电、输电、配电和电能转换的过程中起到开合、控制和

保护作用的电力系统设备。开关柜的主要元器件包括断路器、隔离开关、负荷开关、操作机构、互感器及各种保护装置等。

在确定10 kV开关柜风险评估模型中故障发生可能性的时候, 主要是对上述的元器件进行考虑。关键性思路是: 通过局部放电监测、温度监测等各类现场监测手段, 初步得出10 kV开关柜各主要元器件的运行情况, 采用专家打分法对各主要元器件的故障发生概率进行评价并得出相应指标; 同时, 由于设备及元器件会随着运行年限的增加而老化, 进而发生故障的可能性也会增大, 因此, 针对各主要元器件的运行年限进行了修正。

针对10 kV开关柜中第 i 个主要元器件的故障发生可能性 S_i , 建立模型如式(2)所示。

$$S_i = K_i T_i \quad (2)$$

式中, K_i 是通过现场监测手段应用专家打分法得到的10 kV开关柜中第 i 个主要元器件的初始故障发生可能性; T_i 是10 kV开关柜中第 i 个主要元器件的运行年限修正参数。

(1) 第 i 个主要元器件的初始故障发生可能性 K_i

局部放电监测、温度监测等各类现场监测手段能够一定程度上反映10 kV开关柜的各个主要元器件的健康状态, 为判断元器件的故障发生可能性提供了数据支撑。在此基础上, 定义 m 名现场人员对主要元器件的故障发生可能性进行打分, 采用逻辑如下所示。

分值0~3: 根据现场监测信息判断该元器件发生故障的概率较低, 且值越小, 发生故障的概率越低。

分值4~6: 根据现场监测信息判断该元器件发生故障的概率一般, 且值越小, 发生故障的概率越低。

分值7~9: 根据现场监测信息判断该元器件发生故障的概率较高, 且值越大, 发生故障的概率越高。

假设 m 名现场人员对第 i 个元器件进行打分, 其得分依次为 $k_1, k_2, k_3, \dots, k_m$, 则第 i 个主要元器件的初始故障发生可能性 K_i 如式(3)所示。

$$K_i = \frac{r_1 k_1 + r_2 k_2 + r_3 k_3 + \dots + r_m k_m}{k_1 + k_2 + k_3 + \dots + k_m} \quad (3)$$

式中, $r_1, r_2, r_3, \dots, r_m$ 是专家修正参数, 表示了各评分人员的专业性水平, 当评分人员的专业知识、专业经验更强时, 他的专家修正参数越高。

第 j 个评分人员的专家修正参数 r_j 可由式(4)计算。

$$r_j = \frac{u_j}{u_1 + u_2 + u_3 + \cdots + u_m} \quad (4)$$

式中, u_j 是第 j 个评分人员的专业性表征值。

(2) 第 i 个主要元器件的运行年限修正参数 T_i

10 kV开关柜的各个元器件都有着自身的使用寿命和运行年限,且随着元器件使用年限的增加,其发生故障的可能性也越大。因此,可以定义第 i 个主要元器件的运行年限修正参数 T_i 如式(5)所示。

$$T_i = \frac{x_i}{y_i} \quad (5)$$

式中, x_i 是10 kV开关柜的第 i 个主要元器件的运行年限; y_i 是10 kV开关柜的第 i 个主要元器件的使用寿命。

当元器件的运行年限已经达到厂家建议的使用寿命时,其运行年限修正参数 T_i 等于1,在此情况下,由式(2)可知,其故障发生可能性 S_i 也越大。

3. 10 kV开关柜风险评估模型中故障严重程度的确定

在确定10 kV开关柜风险评估模型中故障严重程度时,主要从影响负荷的重要性、影响负荷的容量、元器件维修时间三个角度加以考虑,确定原则如下。

1) 电力负荷分为一级负荷、二级负荷和三级负荷,其中,一级负荷最为重要,对一级负荷的中断往往会造成巨大的经济损失和人员伤亡等。因此,当10 kV开关柜所带负荷越重要时,反映在10 kV开关柜风险评估模型中的故障严重程度越大。

2) 中断负荷容量越大时,造成的后果越严重。因此,当10 kV开关柜所带负荷的容量越大时,反映在10 kV开关柜风险评估模型中的故障严重程度越大。

3) 元器件维修时间越长,负荷中断时间越长,造成的后果越严重。因此,当10 kV开关柜元器件的维修时间越长时,反映在10 kV开关柜风险评估模型中的故障严重程度越大。

因此,定义10 kV开关柜中第 i 个主要元器件的故障严重程度 P_i 如式(6)所示。

$$P_i = q_i w_i e_i \quad (6)$$

式中, q_i 是负荷等级权重,表征了10 kV开关柜所带负荷的重要性水平,当 q_i 越大时,10 kV开关柜所带一级、二级负荷的比例越大; w_i 是10 kV开关柜所带的负荷平均容量; e_i 是10 kV开关柜第 i 个主要元器件在发生故障时所需的平均维修时长。

4. 10 kV开关柜的风险评估模型

在10 kV开关柜中第 i 个主要元器件的故障发生可能性 S_i 和故障严重程度 P_i 的基础上,可以得到10 kV开关柜的整体风险评估模型如式(7)所示。

$$S = S_1 + S_2 + \cdots + S_z = K_1 T_1 + K_2 T_2 + \cdots + K_z T_z \quad (7)$$

式中, S 是10 kV开关柜的整体风险水平; z 是判断的10 kV开关柜元器件种类数。

10 kV开关柜的状态检修策略

在10 kV开关柜的风险评估模型的基础上,可以得出一个10 kV开关柜的风险水平特征值,在运维经验的基础上,针对得到的10 kV开关风险水平特征值制定了相应的状态检修策略。其中,定义了4种检修状态,依次为正常状态、警告状态、缺陷状态和严重状态。

1) 正常状态:当 $S < S_{a0}$ 时,被评估的10 kV开关柜处于比较正常的运行状态,不需要对该开关柜安排检修。

2) 警告状态:当 $S_{a0} < S < S_{b0}$ 时,被评估的10 kV开关柜处于非正常的运行状态,但不太影响开关柜的运行,因此对该开关柜安排更加频繁的日常工作巡视,加强对该开关柜的监测。

3) 缺陷状态:当 $S_{b0} < S < S_{c0}$ 时,被评估的10 kV开关柜处于非正常的运行状态,且对开关柜的日常运行已有不可忽视的影响,应在较短时间内安排运行维修人员对开关柜进行检修。

4) 严重状态:当 $S_{c0} < S$ 时,被评估的10 kV开关柜处于非正常的运行状态,且已严重影响到开关柜的运行,危及到电力系统的稳定运行,应立刻开展开关柜的检修,在必要情况下予以更换。

结束语

所提出的10 kV开关柜状态检修策略不同于目前的事后检修和计划检修,它能及时发现开关柜的故障隐患,降低故障发生概率,同时达到了减少人力、物力浪费的目的,具有较高实用价值。**EA**

(收稿日期:2016.09.11)

(编辑:白文亭)