

# 广域继电保护中一种故障判定算法

李运坤<sup>1</sup> 江登笠<sup>1</sup> 周文越<sup>2</sup>

(1. 德阳电业局检修公司, 四川 德阳 618000;

2. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

**摘要:** 针对现有后备保护配合复杂容易误动的问题, 基于广域测量信息, 提出了一种新型故障判定算法。利用 Petri 网得到元件/IED 关联矩阵, 将方向元件动作信息作为故障判定的主判据, 主保护以及距离 I 段保护的動作信息作为故障判定的辅助判据, 将这两种判据与元件/IED 关联矩阵通过矩阵运算结合在一起, 最后得到故障位置信息。通过算例证明, 该方法运算简单, 容错性强, 可实现快速故障判定。

**关键词:** 后备保护; 广域继电保护; 分布式结构; Petri 网; 关联矩阵

**Abstract:** Aiming at decreasing the probability of misoperation, a new algorithm of fault identification based on wide-area measurement information is proposed. The incidence matrix of component/IED is obtained based on Petri net. The primary criterion of fault identification is the action information of directional element, and the assistant criteria are the action information of main protection and the zone 1 of protection relay. The information of the fault position can be obtained by combing with these two criteria and incidence matrix of component/IED through matrix computation. The example verifies that the proposed method has an easy computation and a good fault tolerance, which can identify the fault quickly.

**Key words:** backup protection; wide-area relay protection; distributed structure; Petri net; incidence matrix

中图分类号: TM77 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2013)03-0037-05

## 0 引言

传统继电保护都是采用离线整定以获得保护定值, 但电力系统运行方式太多且变化频繁, 因此无法保证定值的灵敏性和选择性随时都满足要求。近几年的大面积停电表明, 当发生大范围潮流转移时, 传统保护难以区分线路内部故障和过负荷<sup>[1]</sup>。为提高继电保护的性能, 提出了广域继电保护的概念, 即利用电力系统中不同位置的广域测量信息来实现继电保护的功能。在现有的高压系统中, 主保护通常是基于纵联差动原理进行动作判定的, 能不受电网运行状态的影响而快速确定故障位置。因此广域继电保护一般用于后备保护。

近年来, 人们对广域继电保护展开了广泛的研究。在系统结构方面, 文献[2-3]根据图论中的相关知识划分保护区域, 文献[4]将多 Agent 引入广域继电保护的体系结构。在保护算法方面, 文献[4-6]根据底层终端的智能电子设备( IED) 的方向信息实现故障判定, 文献[7]利用电压测量信息组成故障判

据。为提高保护的容错性能, 文献[8-10]融合电网多点信息实现故障元件识别。

这里对广域继电保护的算法进行了研究。在混合式广域继电保护系统模型的基础上, 利用 Petri 网得到元件/IED 关联矩阵, 矩阵中的每个元素表明相应元件与 IED 的关联程度, 然后将 IED 的方向信息作为主判据, 主保护和距离 I 段的動作信息作为辅助判据, 识别故障元件。需要说明的是, 这里所指的元件都为电网的一次设备。

## 1 广域继电保护系统结构

广域继电保护的系統结构可分为 3 种: 集中式、分布式和混合式<sup>[11]</sup>。

集中式结构从整个大电网采集数据, 控制中心对数据进行整理分析并决策, 然后将处理信息发送给各个 IED 执行决策。分布式结构将数据的分析和决策放在每个 IED 上。

综合集中式结构和分布式结构的优点, 提出了混合式系统结构。这种结构对整个电网进行分区处

理,每个局域网内有单独的控制决策中心进行数据处理以及决策,并与相邻局域网的控制中心进行信息交换。就目前看来混合式系统结构应该是广域继电保护系统的最佳结构。从整体上看,混合式系统结构与分布式结构相似,每个局域网等同于一个IED,相邻局域网之间进行必要的信息交换,但主要信息在局域网内部传输,因此减少了不必要的信息通信。从局域网层面来看,混合式系统结构又与集中式结构相似,在局域网内部,决策中心负责全部的信息处理,避免了单个IED获取信息过于单一的缺点。再则,考虑到系统升级后,单个IED功能更加完善或者决策中心信息处理能力大幅提高,混合式结构很容易过度到其他两种结构。图1为混合式系统结构示意图。

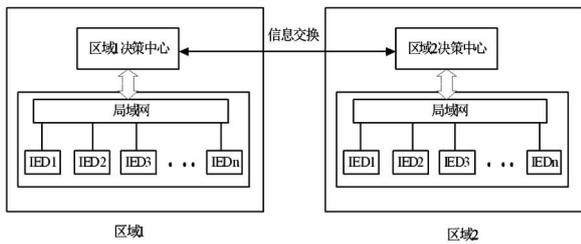


图1 混合式系统结构示意图

这里的故障判定算法是建立在混合式系统结构的基础上。所分析的电网均为单个局域网。对于广域继电保护的保护区划分方法,可参见相关文献,这里不做详细讨论。

## 2 元件/IED 关联矩阵

如图2所示的电网,被保护的元件为母线B1~B5,线路L1~L5,每个保护上都安装一个IED,可测量该位置短路电流方向,读取所安装保护的的动作信息。

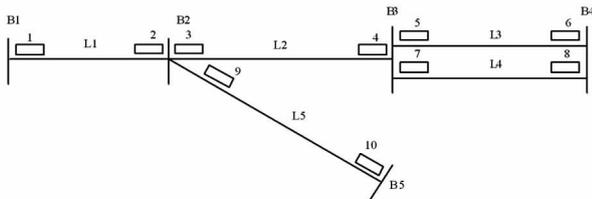


图2 某电网接线图

受与故障元件距离、灵敏度等因素影响,电网内的IED对于故障的反映程度有所不同。对于某一个电力元件而言,其自身保护装置中IED的故障信息无疑是最准确的,其次相邻元件中的IED也能从

某种程度上反映故障元件的特征。因此,希望广域继电保护系统的决策中心在进行故障识别时,能够识别IED与电力元件的这种关系,即对于特定的故障元件,决策中心应当按照IED故障信息的价值对IED加以区分。因此,引入了元件/IED关联矩阵的概念。

$$B = \begin{matrix} & \text{IED}_1 & \text{IED}_2 & \text{IED}_3 & \cdots & \text{IED}_n \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ \vdots \\ S_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & \cdots & b_{2n} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & \cdots & b_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & b_{m3} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

如式(1)所示  $m \times n$  维矩阵  $B$  为一个元件/IED矩阵。矩阵的每一行代表一个被保护元件,每一列代表一个IED,矩阵的元素量化了元件与IED的关联程度。下面将详细阐述基于Petri网推导元件/IED矩阵的方法。

### 2.1 Petri网的基本原理

Petri网是一种可以用图形表示的组合模型,又是严格定义的数学对象,可以很方便地用于静态结构分析和动态的行为分析。图3为Petri网的典型结构,圆圈表示库所,方框表示变迁,箭头表示有向弧,黑点表示令牌。Petri网的基本规则为:有向弧必须是有方向的;两个库所或变迁之间不允许有弧;位置节点可以拥有任意数量的令牌。

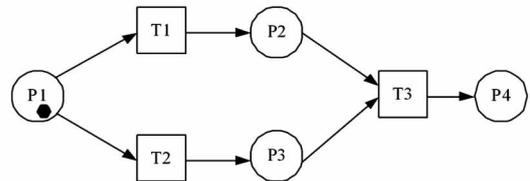


图3 Petri网典型结构

如果一个变迁的每个输入库所都拥有令牌,该变迁即为被激活。一个变迁被允许时,变迁将发生,输入库所的令牌被消耗,同时为输出库所产生令牌。

### 2.2 元件/IED 矩阵推导过程

以图2所示电网为例说明基于Petri网的元件/IED矩阵推导方法。电网中的IED等同于库所,被保护元件等同于变迁,元件与IED间的功率流动等同于有向弧,方向为由母线到IED,由IED到线路。于是图2所示电网可等同于图4所示Petri网。以推导元件/IED矩阵中L2所在行为例,假设L2故障,放置一个带令牌的库所指向L2所在变迁。

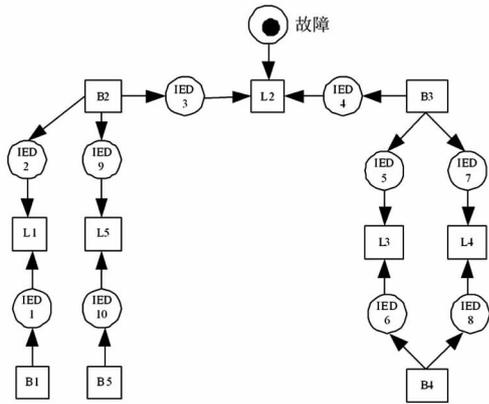


图4 电网的Petri网模型

元件/IED 矩阵的求解过程就是令牌在各个库所的转移过程,也就是令牌从故障库所一步步向各个 IED 库所的转移过程,令牌的每一次转移,都是从一个库所转移到离它最近的库所,得到令牌的库所将令牌保存并沿着有向弧继续向其他库所转移令牌,一直重复此过程,直到 Petri 网中所有的库所都接受到令牌。

定义 3 个矩阵  $U$ 、 $M$ 、 $C$ 。 $U$  与网络结构相关,保持不变。 $M$ 、 $C$  都为动态矩阵,随着令牌的转移不停变化。

$U$  为变迁/库所关联矩阵,表明变迁与库所的关系。矩阵的每一列代表一个库所,每一行代表一个变迁。当变迁是库所的输出时  $u_{ij} = 1$ ,当变迁是库所的输入时  $u_{ij} = -1$ 。图 2 所示电网的  $U$  为式(2)所示矩阵,其中行按 IED1 ~ IED10 排列,列按 L1 ~ L5、B1 ~ B5 排列。

$$U = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$M$  为令牌位置矩阵, $M_i$  表示第  $i$  次推导的  $M$  矩阵,表明令牌在 Petri 网中的分布。对图 2 所示电网  $M$  的列按 IED1 ~ IED10 排列,这里未考虑故障库所。

$$M_0 = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (3)$$

$C$  为变迁激活矩阵, $C_i$  表示第  $i$  次推导的  $C$  矩阵,表明 Petri 网中被激活的变迁。如果令牌的转移是从线路到 IED,即与规定的正方向相反,则在  $C$  中的相应位置取  $-1$ ,反之如果令牌的转移是按规定的正方向转移则在  $C$  中的相应位置取  $1$ 。 $C$  可由  $M \cdot U^T$  计算得到。由于未考虑故障库所, $M_0$  为零矩阵,因此不能用  $M_0 \cdot U^T$  得到  $C_1$ 。对图 2 所示电网, $C$  的列按 L1 ~ L5、B1 ~ B5 排列。从图 4 可以看出,变迁 L2 被激活。

$$C_1 = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (4)$$

令牌在 Petri 网中的传播过程可用下面两个式子表示。

$$M_n = C_n \cdot U \quad (5)$$

$$C_{n+1} = M_n \cdot U^T \quad (6)$$

按式(5)、式(6)进行迭代操作,直到网络中每个库所至少有一个令牌,即矩阵  $M$  中无零元素。

对图 4 所示 Petri 网进行上述操作,经过三次迭代,可得

$$C_{12} = [1 \ 6 \ 11 \ 11 \ 6 \ 1 \ 6 \ 1 \ 6 \ 1] \quad (7)$$

$M_{12}$  为最终 L2 对应的令牌位置矩阵。从矩阵  $M_{12}$  可以看出,IED3、IED4 所在列数值最大,IED2、IED5、IED7、IED9 其次,IED1、IED6、IED6、IED10 最小。这些值表明了 L2 与各 IED 的相关程度。

当 L2 发生短路故障时,IED1、IED3、IED4、IED6、IED8、IED10 处的方向元件判定为负方向,IED2、IED5、IED7、IED9 处的方向元件判定为正方向。用矩阵  $I$  表示这种关系, $I$  的列按 IED1 ~ IED10 排列。

$$I_{12} = [1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1] \quad (8)$$

$I_{12}$  表示 L2 与各 IED 的方向关系,将  $I_{12}$  与  $M_{12}$  点乘,便可将方向信息加入元件与 IED 的相关程度中。修改  $M_{12}$  矩阵为

$$M_{12} = [1 \ -6 \ 11 \ 11 \ -6 \ 1 \ -6 \ 1 \ -6 \ 1] \quad (9)$$

对电网中的每个元件,按上述方法进行推导时, $U$  都是一样的,需要改变的是  $C_1$  和  $I$ 。需注意的是,为保持每个元件的  $M$  矩阵中元素的符号统一,在推导母线的  $M$  矩阵时, $C_1$  中的元素取为负。将所有  $M$  矩阵组合成一个矩阵如下。

$$\begin{matrix} M_{L1} \\ M_{L2} \\ M_{L3} \\ M_{L4} \\ M_{L5} \\ M_{B1} \\ M_{B2} \\ M_{B3} \\ M_{B4} \\ M_{B5} \end{matrix} = \begin{bmatrix} 101 & 175 & -141 & 48 & -11 & 1 & -11 & 1 & -141 & 46 \\ -1 & -6 & 11 & 11 & -6 & 1 & -6 & 1 & -6 & 1 \\ 1 & -11 & 49 & -152 & 195 & 148 & -179 & -132 & -11 & 1 \\ 1 & -11 & 49 & -152 & -179 & -132 & 195 & 148 & -11 & 1 \\ 46 & -141 & -141 & 48 & -11 & 1 & -11 & 1 & 175 & 101 \\ -144 & 233 & -178 & 57 & -12 & 1 & -12 & 1 & -178 & 55 \\ 29 & -74 & -74 & 31 & -9 & 1 & -9 & 1 & -74 & 29 \\ 1 & -9 & 31 & -74 & -75 & 38 & -75 & 38 & -9 & 1 \\ 2 & -26 & 138 & -492 & -658 & 556 & -658 & 556 & -26 & 2 \\ 55 & -178 & -178 & 57 & -12 & 1 & -12 & 1 & -233 & 144 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0.577 & 1 & -0.806 & 0.274 & -0.063 & 0 & -0.063 & 0 & -0.806 & 0.263 \\ -0.09 & 0.545 & 1 & 1 & -0.545 & 0.09 & -0.545 & 0.09 & & \\ 0 & -0.056 & 0.251 & -0.779 & 1 & 0.759 & -0.918 & -0.677 & -0.056 & 0 \\ 0 & -0.056 & 0.251 & -0.779 & -0.918 & -0.677 & 1 & 0.759 & -0.056 & 0 \\ 0.263 & -0.806 & -0.806 & 0.274 & -0.063 & 0 & -0.063 & 0 & 1 & 0.577 \\ -0.618 & 1 & -0.751 & 0.245 & -0.051 & 0 & -0.051 & 0 & -0.763 & 0.236 \\ 0.391 & -1 & -1 & 0.419 & -0.122 & 0 & -0.122 & 0 & -1 & 0.392 \\ 0 & -0.12 & 0.413 & -1 & -1 & 0.507 & -1 & 0.507 & -0.12 & 0 \\ 0 & -0.039 & 0.21 & -0.748 & -1 & 0.845 & -1 & 0.845 & -0.037 & 0 \\ 0.236 & -0.763 & -0.763 & 0.245 & -0.051 & 0 & -0.051 & 0 & -1 & 0.618 \end{bmatrix} \quad (11)$$

可以看出,不同元件  $M$  矩阵各元素的值相差较大,由于只需要反应元件与 IED 之间相对关联程度,因此为方便比较,将矩阵中的各元素除以元素所在行最大的绝对值,最后得到的矩阵便为元件/IED 关联矩阵。矩阵中的某些元素可能非常小,这表明对应的元件与 IED 关联程度相当低,于是可直接忽略,将该元素置零。最后得到的矩阵即为元件/IED 关联矩阵  $B$ 。

借用 Petri 网络的基本概念和原理,对元件/IED 矩阵的元素取值进行推导,过程直观简便,只需要简单的矩阵运算,便可从数学的角度量化关联矩阵的元素值,从而达到对元件与 IED 之间关联矩阵赋值的目的。相对于其他算法, Petri 网络不需要在庞大的解空间内寻求最优解,从而降低了运算难度。当电网结构发生变化时只需修改矩阵  $U$  中的相关元素即可。可以看出,基于 Petri 网推导元件/IED 关联矩阵的过程即是不断对电网中 IED 进行赋值,而与元件关联越紧密的 IED 被赋值的次数也就越多,因此最后得到的元件/IED 矩阵反映了元件与 IED 的关联程度。

### 3 故障判定算法

将方向元件的动作信息作为故障判定的主判

据。而主保护和距离 I 段误动率很低,因此为充分利用冗余信息,将主保护和距离 I 段的动作信息作为故障判定的辅助判据。

方向元件可能的动作情况为

$$f_i = \begin{cases} 1 & \text{正方向故障} \\ -1 & \text{反方向故障} \\ 0 & \text{未检测到故障} \end{cases} \quad (12)$$

主保护可能的动作情况为

$$z_i = \begin{cases} 1 & \text{主保护动作} \\ 0 & \text{主保护不动作} \end{cases} \quad (13)$$

距离 I 段可能的动作情况为

$$l_i = \begin{cases} 1 & \text{距离 I 段动作} \\ 0 & \text{距离 I 段不动作} \end{cases} \quad (14)$$

当保护动作时,经过一段延时后,局域网的决策中心在一定的时间内收集所有 IED 方向元件以及主保护和距离 I 段的动作信息,并按照式(12)、式(13)、式(14)进行赋值。分别用矩阵  $F$ 、 $Z$ 、 $L$  表示电网中方向元件、主保护和距离 I 段的动作信息。

$$N = [f_1 \ f_2 \ f_3 \ \cdots \ f_n] \quad (15)$$

$$Z = [z_1 \ z_2 \ z_3 \ \cdots \ z_n] \quad (16)$$

$$L = [l_1 \ l_2 \ l_3 \ \cdots \ l_n] \quad (17)$$

$n$  为电网中 IED 的数量。上面 3 个矩阵的每 1

列表1个相应位置保护的動作信息,排列顺序与元件/IED矩阵列的排列顺序一致。

在得到电网的元件/IED关联矩阵和式(15)、式(16)、式(17)3个矩阵后,便可用式(18)计算故障判定值。

$$R = B \cdot (\lambda_1 \cdot N^T + \lambda_2 \cdot Z^T + \lambda_3 \cdot L^T) \quad (18)$$

式中 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 为权重因子,考虑到方向信息为主判据,主保护和距离I段的動作信息为辅助判据, $\lambda_1$ 应大于 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 。 $R$ 代表系统中保护范围内所有元件的故障判定值 $r_i$ 组成的列相量如下。

$$R = [r_1 \quad r_2 \quad r_3 \quad \dots \quad r_m] \quad (19)$$

式中 $m$ 为电网中元件的数量。式(19)就是将每个IED動作值、主保护和距离I段動作值与对应IED与每个元件的关联度相乘,然后将3个值相加。由于元件/IED矩阵已进行过归一化处理,因此式(20)所得向量 $R$ 中的元素定量表示了元件故障概率的相对大小。

元件的故障判据为

$$r_i \geq r_{i \cdot set} \quad (20)$$

式中 $r_{i \cdot set}$ 为预先设定的故障阈值。电网中的每个元件都有自己的故障阈值,应该根据电网的拓扑结构选择每个元件合适的故障阈值。这里从两方面考虑元件的故障阈值。首先,考虑到故障定位的准确性与可靠性,阈值应适当取高;其次,当通信故障或IED灵敏度不够时,可能会造成电网内某些IED不动作或误动,此时因考虑较低的阈值。因此,在计算元件阈值时,应假设该元件故障,在电网内所有IED都正确動作时确定一个阈值,然后以 $N-1$ 切换的方式考虑单个IED故障时,再考虑一定的裕度便可确定最终的元件故障阈值。

## 4 算例分析

以图2所示电网为例说明所提出的广域继电保护故障判定算法。 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 分别为1、0.5、0.5。电网的元件/IED矩阵为式(11)所示矩阵。假设线路2中点处发生故障,保护動作正确、方向元件2误动、拒动。按式(16)计算各个元件的故障判定值,最终的判定结果见表1。

从表1可以看出,故障线路的故障判定值要明显高于其他非故障线路的故障判定值,主要原因在于,在用方向信息进行故障判定时,在非故障线路中

表1 故障判定结果

保护元件	故障判定值			故障阈值	故障判定结果
	正确動作	IED2误动	IED2拒动		
L1	-0.292	0.708	1.71	4	不故障
L2	6.36	5.815	5.27	4	故障
L3	-0.944	-1	-1.052	4	不故障
L4	-0.944	-1	-1.052	4	不故障
L5	-0.292	-1.096	-1.902	4	不故障
B1	-1.529	-0.53	0.471	4	不故障
B2	1.865	0.87	-0.135	4	不故障
B3	2.08	1.96	1.84	4	不故障
B4	2.69	2.651	2.612	4	不故障
B5	1.683	0.917	0.92	4	不故障

负方向元件動作后起到一定的负反馈作用,从而部分抵消了非故障线路的正方向元件動作后的故障计算值,而在故障线路中负方向元件则起到了正反馈作用,使判定值增大。根据这种特征,再加以主保护和距离I段動作信息的辅助判据,决策中心就能区分故障元件与非故障元件,且具有较强的容错性。因此,只要阈值设定合理,即使某个保护误动或拒动,决策中心仍能正确判定故障。

## 5 结 语

在混合式广域继电保护系统结构的基础上,基于Petri网推导出表示电网一次设备与IED关系的元件/IED关联矩阵。推导过程简单,当网络结构发生改变时,易于更新。故障发生后,将IED的方向信息作为主判据,主保护和距离I段的動作信息作为辅助判据,并借助元件/IED关联矩阵进行故障判定。通过算例分析表明,该算法能很好的分辨出故障元件与非故障元件,并具有较强的容错性。

### 参考文献

- [1] 杨春生,周步祥,林楠,等.广域保护研究现状及展望[J].电力系统保护与控制,2010,38(9):147-150.
- [2] 苏盛, K. K. Li, W. L. Chan, 等.广域电流差动保护区划分专家系统[J].电网技术,2005,29(3):55-63.
- [3] 李振兴,尹项根,张哲,等.有限广域继电保护系统的分区原则与实现方法[J].电力系统自动化,2005,29(3):55-63.

(下转第90页)

### 6.1 APS 调试的环境和特殊要求

实现机组级自启/停要通过一个渐进的过程来实现。如何在较短时间内既能较高水平地完成 DCS 各个功能,又能实现 APS 功能且不影响 DCS 其它功能的实现,APS 的结构方案成了关键。机组级自启停(APS)采用多层次功能组结构,最高层为机组级自启停功能组。这样做不但使 APS 对下层 DCS 功能的影响较小,而且还可以把 APS 拆开分步试投。

APS 的调试要尽早进入,在 APS 设计阶段应对 APS 的方案进行审查,对 APS 逻辑进行深入分析研究,不断优化逻辑,在 DCS 系统复原后,满足 DCS 具备启动条件即可逐渐开始 APS 的静态试验调试。

### 6.2 自启停控制系统仿真试验和测试

自启停控制系统逻辑和画面组态完成后要进行系统仿真试验和测试,仿真试验的目的是检查逻辑设计的合理性和画面组态及连接的正确性。

### 6.3 自启停控制系统静态调试

机组断点的静态调试是和仿真试验同时进行的,功能的静态调试是把相关设备(泵和风机等)打到试验位置,电动门、调节门尽量实际开关,不能实际开关的要做好隔离措施,保证能实际开关电动门和调节门,强制不满足的条件,启动功能组,模拟功能组的启动过程,试验每一步是否能正常进行下去。

### 6.4 自启停控制系统动态调试及投运

动态调试阶段是控制系统的实际投运过程,在调试工程中必须密切关注设备的动作和系统的状态,根据实际情况对 APS 系统进行了进一步的修改和完善,确保了机组的安全运行。

在动态调试时,机组断点投运前必须保证断点中的相关设备的传动正确,联锁保护试验完成,设备能够正常启停和投运,断点中所涉及的功能组完成静态试验并可实际投运或已经实际投运过,才能确保 APS 系统控制动作的正确性和整个机组的可靠运行。在动态调试过程中还对投入和使用的控制策略进行了进一步优化和调整,确保了控制的稳定性和准确性。

## 7 结 语

广东海门 2 × 1 000 MW 机组电厂自启停控制系统的成功应用,推进了国内其他电厂技术进步和技术改造的步伐,目前国内其他一部分 1 000 MW 机组电厂等技术改造项目也提出了实施机组自启停控制系统的要求。相信自启停控制技术还将在全国范围内进行推广,机组自启停控制技术在高参数、大容量火力发电站具有广泛的应用前景和发展空间。

(收稿日期:2013-02-22)

(上接第 41 页)

[4] 李振兴,尹项根,张哲,等.基于多 Agent 的广域保护系统体系研究[J].电力系统保护与控制,2012,40(4):71-75

[5] 丛伟,潘贞存,赵建国.基于纵联比较原理的广域继电保护算法研究[J].中国电机工程学报,2006,26(21):8-14

[6] 田聪聪,文明浩.具有高信息冗余的广域后备保护系统[J].电网技术,2011,35(10):214-219

[7] 杨增力,石东源,段献忠.基于方向比较原理的广域继电保护系统[J].中国电机工程学报,2008,28(22):97-93

[8] 汪华,张哲,尹项根,等.基于故障电压分布的广域后备保护算法[J].电力系统自动化,2011,35(7):48-52

[9] 汪晔,尹项根,赵逸君.基于遗传算法的区域电网智能保护[J].电力系统自动化,2008,32(17):40-44

[10] 汪晔,尹项根,张哲,等.基于遗传信息融合技术的广域继电保护[J].电工技术学报,2010,25(8):174-179

[11] 尹项根,李振兴,刘颖彤,等.广域继电保护及其故障元件判别问题的探讨[J].电力系统保护与控制,2012,40(5):1-9

作者简介:

李运坤(1987),男,硕士,从事变电检修工作;  
江登莹(1985),男,本科,从事变电检修工作;  
周文越(1989),男,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护。

(收稿日期:2013-02-26)