

浅析10 kV电力变压器的继电保护

简要介绍了继电保护的概念和重要性，对10 kV电力变压器的继电保护类型作了简单的描述，并通过一个项目案例介绍了对10 kV干式电力变压器的过电流、电流速断及单相接地故障的继电保护装置动作电流的整定及保护装置灵敏系数的计算方法及校验过程。

朱 江/上海中骏创富房地产有限公司

1 继电保护基本概念

1.1 继电保护的概念

在研究电力系统故障和危及安全运行的异常工况时，需要探讨应对事故的自动化措施。由于这些措施主要用带有触点或辅助触点的继电器来保护电力系统及其元件，例如线路、发电机、变压器和母线等，使之免遭损害，所以称其为继电保护。

1.2 继电保护的任務

当电力系统发生故障或异常工况时，在最短时间和最小区域内，自动将故障设备从系统中切除，或发出信号由值班人员消除异常工况，以避免设备的损坏和对相邻地区供电的影响，以便尽快恢复供电。

1.3 继电保护的基本要求

继电保护和自动装置的设计应以合理的运行方式和可能的故障类型为依据，并满足可靠性、选择性、灵敏性和速动性四项基本要求。

(1) 可靠性

可靠性是指保护应该动作时应动作，不该动作时不动作。为保证可靠性，宜选用可实现的最简单的保护方

式，应采用由可靠的元件和尽可能简单的回路构成的性能良好的装置，并应具备必要的检测、闭锁等措施。

(2) 选择性

选择性是指首先由故障设备或线路本身的保护切除故障，当故障设备或线路本身的保护或断路器拒动时才允许由相邻设备、线路的保护等切除故障。因此为保证选择性，对相邻设备和线路有配合要求的保护和同一保护内有配合要求的两元件，其灵敏系数及动作时间在一般情况下应相互配合。

(3) 灵敏性

灵敏性是指在设备或线路的被保护范围内发生金属性短路时，保护装置应具有必要的灵敏系数。灵敏系数应根据不利的正常运行方式和不利的故障类型计算，但可不考虑可能性很小的情况。

(4) 速动性

速动性是指保护装置应能尽快地切除短路故障，其目的是提高系统稳定性，减轻故障设备和线路的损坏程度，缩小故障波及范围，提高自动重合闸和备用电源或备用设备自动投入的效果等。

1.4 继电保护的分类

按继电保护装置的作用，一般可以分为主保护、后备保护和辅助保护。

(1) 主保护

满足系统稳定及设备安全要求，快速而有选择地切除被保护元件范围内的故障的保护。

(2) 后备保护

分为远后备与近后备两种方式：



朱 江/工程师

关键词/Keywords

继电保护 ·
最大运行方式 ·
最小运行方式 ·
动作电流 ·
灵敏系数 ·

1) 远后备。当主保护或断路器拒绝动作时,由相邻元件的保护实现后备保护。为此,每个元件的保护装置除装设作为本身的主保护以外,还应装设作为相邻元件的后备保护。

2) 近后备。当本元件主保护或断路器拒绝动作时,由本元件的另一套保护或本变电所另一台断路器实现后备。为此,每一元件应装设单独的主保护与后备保护,并装设必要的断路器失灵保护。

(3) 辅助保护

为补充主保护和后备保护的不足而增设的简单保护。例如为加速切除故障或消除方向元件的死区,可用电流速断来实现。

2 电力变压器的继电保护

电力变压器的继电保护通常有以下几种:①绕组及其引出线的相间短路和在中性点直接接地

或经小电阻接地侧的单相接地保护;②绕组的匝间短路;③外部相间短路引起的过电流;④中性点直接接地或经小电阻接地的电力网中外部接地短路引起的过电流及中性点过电压;⑤过负荷;⑥油面降低;⑦变压器油温过高、绕组温度过高、油箱压力过高、产生瓦斯或冷却系统故障。

鉴于电气设计工作主要研究的是防范外部故障,且目前干式变压器的应用范围越来越广泛,主要对变压器引出线的短路故障进行分析。

GB/T 50062—2008《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》中第4.0.3条,针对变压器引出线、套管及内部短路故障的保护范围已经有了详细的说明,结合《工业与民用配电设计手册》第三版第七章的内容,电力变压器的继电保护配置(容量在5 000 kV·A以下的电力变压器)如下表所示。

表 电力变压器的继电保护配置

变压器容量 /kV·A	保护装置名称					备注
	带时限的 过电流保护	电流速断保护	纵联差动保护	低压侧单相 接地保护	过负荷保护	
<400	—	—	—	—	—	一般用高压熔断器保护
400~630	高压侧采用	高压侧采用断路器其过电	—	—	并联运行的变	一般采用GL型继电器
800	断路器时装设	流保护时限>0.5 s时装设	—	装设	压器装设,作为	兼作过电流及电流速断保
1 000~1 600	—	过电流保护时限>0.5 s时	—	—	其他备用电源的	护
2 000~5 000	装设	装设	当电流速断保护不能满	—	变压器根据过负	
			足灵敏性要求时装设		荷的可能性装设	

通过上表不难看出,除容量小于400 kV·A的变压器外,目前大多数的设计中,高压侧均采用断路器,变压器均需要装设带时限的过电流保护,并且当过电流保护时限大于0.5 s时,还需要加装电流速断保护;对于2 000~5 000 kV·A的变压器,当电流速断保护不能满足灵敏性时,还需要装设纵联差动保护。除此之外,不大于1 600 kV·A的变压器还应该考虑低压侧的单相接地保护。

另外,在考虑变压器的继电保护时,除了需要计算保护装置的动作电流,还需要对保护装置的灵敏度进行校验。

以上仅为电力变压器继电保护的基本要求,在实际的保护整定计算及运用中,当电力系统运

行方式、变压器中性点接地类型、继电器的选用和接线方式不同时,继电保护整定电流限值、灵敏度校验及保护时限等均有变化。下面主要通过一个实际案例,对保护整定计算和校验作一个系统的说明。

3 电力变压器继电保护实例

某大型研发中心项目,两路10 kV高压进线,高压母线采用单母线分段运行方式,高压开关柜采用断路器保护;选用两台10/0.4 kV的干式变压器,容量为1 250 kV·A,变压器型号为SCB11—10/0.4 kV—1250//Dyn11。低压侧母线采用单母线分段运行方式。10 kV母线上短路容量假定为

300 MV·A。系统架构图如图1所示。

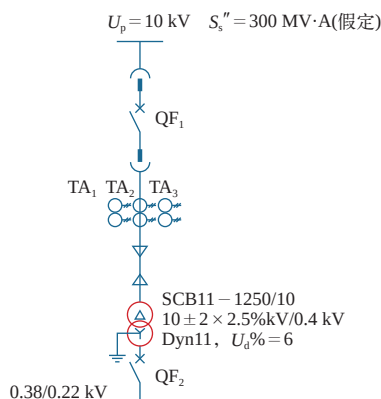


图1 系统架构

在这里需要说明一点，10 kV母线上的系统短路容量为假定，在校验保护装置的灵敏系数是否满足时，应按系统最小运行方式下的情况进行分析校验。

本案例中，过电流继电器选用GL感应型，是考虑到GL型继电器的反时限特性。反时限过电流继电器的动作根据电流的大小决定，电流上升越快动作时间越短，上升慢时间就长。而DL定时限过电流继电器是根据电流的大小变化，在大于整定值时发出信号，通过时间继电器延时，到时间就发出跳闸信号。所以对短路这种情况来说用GL型是最理想的，可以做到瞬时保护，而DL型一定要在时间继电器延时时间到才能动作。

3.1 过电流保护

根据短路电流的计算方法（或查《工业与民用配电设计手册》第三版P.169）不难得出：在变压器低压侧发生三相短路时，变压器出口端的三相短路电流为 $I_k = 25.22$ kA，流过高压侧的超瞬态电流为

$$I''_{2k3} = \frac{0.4I_k}{10} \times 1000 = 1008.8 \text{ A} \quad (1)$$

正常运行时，变压器的额定电流（高压侧）为

$$I_{1rT} = \frac{S_r}{\sqrt{3}U_n} = \frac{1250 \text{ kV} \cdot \text{A}}{\sqrt{3} \times 10 \text{ kV}} = 72 \text{ A} \quad (2)$$

因此，装设三个GL型过电流继电器和三个电流比为100/5的电流互感器 $TA_1 \sim TA_3$ ，即

$$n_{TA} = 100/5 \quad (3)$$

继电器接线方式如图2所示，采用接于相电流的方式。

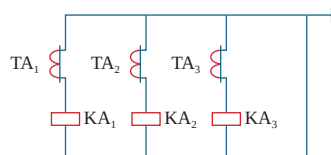


图2 继电器接线

根据《工业与民用配电设计手册》第三版第7章表7-3可以查出，过电流保护时，保护装置的动作电流按下式计算（应躲过可能出现的过负荷电流）

$$I_{op.K} = K_{rel} K_{jx} \frac{K_{gh} I_{1rT}}{K_r n_{TA}} \quad (4)$$

式中， K_{rel} 为可靠系数，取1.3； K_{jx} 为接线系数，取1； K_{gh} 为过负荷系数，取3； K_r 为继电器返回系数，取0.85。

将以上数值及式（2）、式（3）代入式（4），得保护装置的动作电流 $I_{op.K} = 16.52$ A，取17 A。

继续校验保护装置的灵敏系数，应满足（按电力系统最小运行方式下，低压侧两相短路时流过高压侧的短路电流校验）

$$K_{sen} = \frac{I_{2k2.min}}{I_{op}} \geq 1.5 \quad (5)$$

为省略计算，依然假定电力系统最小运行方式下，10 kV母线上短路容量为300 MV·A（实际应用时应从电力部门获取相关数据），即

$$I''_{2k3.min} = I''_{2k3} \quad (6)$$

则最小运行方式下变压器低压侧两相短路时，流过高压侧的稳态电流

$$\begin{aligned} I_{2k2.min} &= \frac{2}{\sqrt{3}} \times 0.866 I''_{2k3.min} \\ &= \frac{2}{\sqrt{3}} \times 0.866 \times 1008.8 \text{ A} \\ &= 1008.8 \text{ A} \end{aligned} \quad (7)$$

式中， $2/\sqrt{3}$ 为变压器低压侧发生两相短路时，流过高压侧的电流分布系数，其取值根据变压器连接组别、继电器接线方式、短路故障形式以及保护方式的不同略有不同。

而保护装置一次动作电流为

$$I_{op.K} = I_{op.K} \frac{n_{TA}}{K_{jx}} = 17 \text{ A} \times \frac{20}{1} = 340 \text{ A} \quad (8)$$

将式(7)、式(8)代入式(5)得

$$K_{sen} = \frac{I_{2k2.min}}{I_{op}} = \frac{1008.8 \text{ A}}{340 \text{ A}} = 2.97 \geq 1.5 \quad (9)$$

通过过电流保护满足灵敏度的校验。保护装置的动作时限取0.5 s。

3.2 电流速断保护

同理,假定电力系统最大运行方式下,变压器低压侧三相短路时,流过高压侧的超瞬态电流为

$$I''_{2k3.max} = I''_{2k3} = 1008.8 \text{ A} \quad (10)$$

则保护装置的动作电流(应躲过低压侧短路时,流过保护装置的最大短路电流)为

$$I_{op.K} = K_{rel} K_{jx} \frac{I''_{2k3.max}}{n_{TA}} \quad (11)$$

式中, K_{rel} 为可靠系数,取1.5; K_{jx} 为接线系数,取1。

将式(3)、式(10)代入式(11),得

$$I_{op.K} = K_{rel} K_{jx} \frac{I''_{2k3.max}}{n_{TA}} = 1.5 \times 1 \times \frac{1008.8 \text{ A}}{20} = 75.66 \text{ A} \quad (12)$$

取76 A。瞬动电流倍数为76 A/17 A=4.47,取5倍。

最小运行方式下(假定最小运行方式下系统高压侧短路容量仍为300 MV·A),变压器高压侧三相短路时短路点的超瞬态电流为

$$I''_{1k3.min} = \frac{S''_{s.min}}{\sqrt{3}U_n} = \frac{300 \text{ MV} \cdot \text{A}}{\sqrt{3} \times 10 \text{ kV}} = 17.32 \text{ kA} \quad (13)$$

$$I''_{1k2.min} = 0.866 I''_{1k3.min} = 14999 \text{ A} \quad (14)$$

拟采用过电流继电器组成过电流保护兼作电流速断保护,需校验其灵敏度。则保护装置用作电流速断保护时的,其灵敏系数为

$$K_{sen} = \frac{I''_{1k2.min}}{I_{op}} = \frac{14999 \text{ A}}{340 \text{ A} \times 5} = 8.82 > 2 \quad (15)$$

因此可利用一套继电器和互感器装置同时实现过电流保护及电流速断保护。

3.3 低压侧单相接地故障保护

拟利用高压侧三相式过电流保护完成低压侧的单相接地保护,保护装置的过电流和动作时限

与过电流保护相同,校验保护装置的灵敏性。则保护装置的灵敏系数为

$$K_{sen} = \frac{I_{2k1.min}}{I_{op}} \quad (16)$$

最小运行方式下,变压器低压侧母线或母干线末端单相接地短路时,流过高压侧的稳态电流为 $I_{2k1.min}$ 。

由《工业与民用配电设计手册》Dyn11接线变压器高压侧及继电器中的短路电流分布图,可选出短路电流分布系数为 $1/\sqrt{3}$ 。

则

$$I_{2k1.min} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{I_{22k1.min}}{I_{op} n_T} \quad (17)$$

其中最小运行方式下,变压器低压侧母线或母干线末端单相接地稳态短路电流 $I_{22k1.min}$ 可由《工业与民用配电设计手册》第三版P.169查出,为22.29 kA, $I_{op} = 340 \text{ A}$, $n_T = 10/0.4$ 。

则

$$\begin{aligned} I_{2k1.min} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{I_{22k1.min}}{I_{op} n_T} \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{22290 \text{ A}}{340 \text{ A} \times \frac{10}{0.4}} = 1.514 > 1.5 \end{aligned} \quad (18)$$

满足灵敏度校验。

4 结束语

由于继电保护的内容种类繁多,计算烦琐,概念容易混淆,在计算过程中应按部就班根据公式计算。以上仅为继电保护中很少的一部分内容,由于时间仓促篇幅有限,未能完全展开,并且是按照最简单的模型进行分析。实际设计中,最大运行方式和最小运行方式下系统的短路容量会有很大差别,也会对计算结果造成影响,尤其是灵敏度校验时,务必严格根据计算结果设计。如遇到灵敏度不符合要求,则必须根据GB/T 50062—2008《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》规定的内容,考虑其他的保护方式。

(收稿日期:2015-03-12) EA