

[变电站]

35 kV 变电站多功能继电保护设计

文/ 中石化（香港）海南石油有限公司 张东升

继电保护装置与安全自动装置属于二次系统，对电力系统安全稳定运行起着重要的作用，合理的继电保护设置可以在电力系统发生故障时迅速切除故障设备或线路。以 35 kV 变电站为例进行继电保护设计，研究设计了 35 kV 变电站继电器保护综合自动化系统的结构以及防雷保护。

短路电流计算

1. 短路计算的假设

一般来说，为了简化短路电流计算的过程以及相关的影响因素，在进行计算时做如下的假设：

- 1) 系统在正常运行时，三相对称，各电源频率、相位角相同。
- 2) 系统的各元件的磁路系统为不饱和状态，即认为各元件的感抗为一常数。
- 3) 电路电容和变压器的励磁电流略去不计。
- 4) 系统中各元件的电阻略去不计，若短路电路中总电阻 R_{Σ} 大于总电抗 X_{Σ} 的 1/3，则计入其有效电阻。

2. 短路电流计算过程

在本设计中，短路电流计算的过程如下。

(1) 选取基准的参数

在对变电站进行短路电流计算时，需要计算各个元件的电抗，为了计算方便一般会采用标么值来进行计算。

对于本变电站来说，选取的基准值如下：基准容量 $S_B = 100 \text{ MV} \cdot \text{A}$ ；基准电压 $U_{av} = 37 \text{ kV}$ 。

(2) 计算各个设备的电抗标么值

对于本变电站来说各个部分的阻抗值如下。

1) 系统

$$X_1 = 100 / 150 = 0.667$$

$$X_2 = 100 / 250 = 0.438$$

2) 线路

L1 和 L2 线路

$$X_3 = X_4 = l_1 X_1 S_B / V_B^2 = 0.4 \times 13 \times 100 / 35^2 = 0.380$$

L3 和 L4 线路

$$X_5 = X_6 = l_3 X_1 S_B / V_B^2 = 0.4 \times 10 \times 100 / 35^2 = 0.292$$

3) 变压器

$$X_7 = X_8 = (U_k \% / 100) S_B / S = 0.075 \times 100 / 6.3 = 1.19$$

(3) 系统等效网络图

根据变电站的一次接线图，可以绘制出变电站的等效网络图，如图 1 所示。

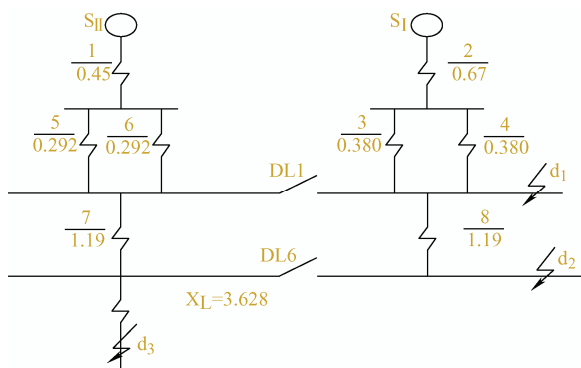


图1 系统等效网络图

(4) 短路电流计算

在进行短路电流计算时，首先要计算的是最大运行模式下的短路电流此时系统等效图如图2所示。

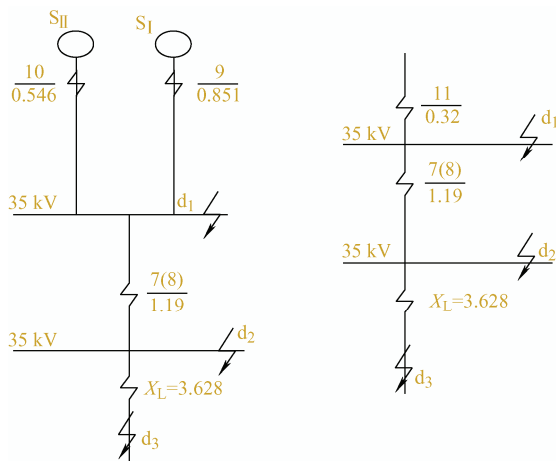


图2 系统简化图

$$X_9 = X_2 + X_3 // X_4 = 0.851$$

$$X_{10} = X_1 + X_5 // X_6 = 0.546$$

$$X_{11} = X_{10} // X_9 = 0.642$$

$$X_{12} = X_{11} + X_7 = 1.832$$

由上面的计算可知母线上的短路电流为

$$I_{d1\max} = I_{B1} / X_{11} = 1.56 / 0.642 \text{ kA} = 2.430 \text{ kA}$$

$$I_{d21\max} = I_{B1} / X_{12} = 1.56 / 1.832 \text{ kA} = 0.852 \text{ kA}$$

对于d3点来说，短路电流为

$$I_{d3\max} = 5.5 / (1.832 + 3.628) \text{ kA} = 1.007 \text{ kA}$$

计算在最小运行方式下的短路电流，系统的简化图如图3所示。

在其中一个变压器是停止运行的情况下，仅仅考虑其中一台单独运行的结果，可得

$$X_{13} = X_9 + X_7 = 0.667 + 1.19 = 1.86$$

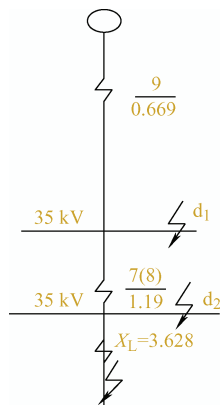


图3 系统简化图

因此可以计算出35 kV的母线电流为

$$I_{d1\min} = I_{B1} / X_9 = 1.56 / 0.851 \text{ kA} = 1.83 \text{ kA}$$

$$I_{d2\min} = I_{B2} / X_{13} = 5.5 / 1.857 \text{ kA} = 2.96 \text{ kA}$$

$$I_{d21\min} = I_{B1} / X_{13} = 1.56 / 1.857 \text{ kA} = 0.84 \text{ kA}$$

计算出d3点的短路电流为

$$I_{d3\min} = 5.5 / (1.857 + 3.628) \text{ kA} = 1.003 \text{ kA}$$

折算到35 kV侧为

$$I_{d31\min} = 1.56 / (1.857 + 3.628) \text{ kA} = 0.285 \text{ kA}$$

35 kV 变电站继电保护装置选择

1. 阶段式电流保护的选择

阶段式电流保护又称为三段式电流保护，由三部分组成：保护Ⅰ段（又称瞬时电流速断保护）为主保护，保护的设定值最高且动作无时限，但是仅能保护本线路的一部分，不能保护本线路的全部。保护Ⅱ段（又称限时电流速断保护）同样为主保护，保护的设定值较高，但动作有一定的时限，能保护本线路的全长。保护Ⅲ段（又称定时限过电流保护）为后备保护，保护的设定值较低，动作时限较长，但能保护本线路的全长（用作近后备保护）或相邻下级线路的全长（用作远后备保护）。本小节首先讨论单侧电源网络线路故障时的电流特性，在此基础上引出电流保护各段的原理与特性，进一步阐述其保护整定值的计算。

对于所分析的电源辐射网，线路相对复杂，但其线路类型及负载类型都是相同的，区别仅仅在于线路长度及负载容量的不同，所以可以仅取其中一条支路单独研究，这样更能方便直观地观察仿真结

果。对于简单的单支路辐射型供电网络，常见的网络示意图如图 4 所示，并假设图中每条线路上都

装设有继电保护装置，图 4 中方框 1 与 2 表示的就是保护装置。

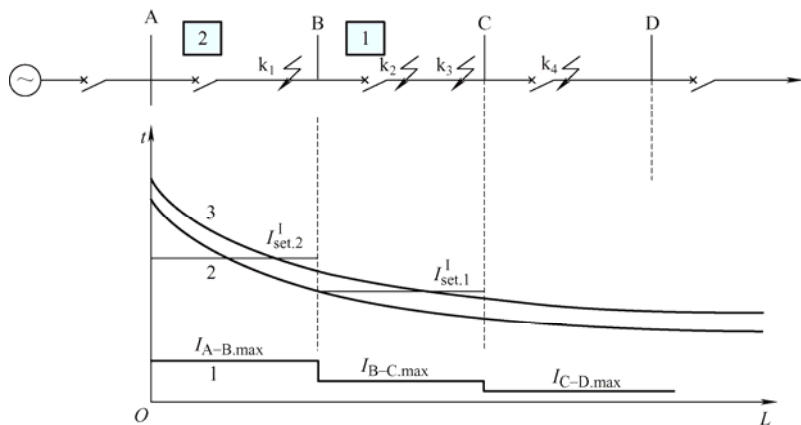


图 4 单电源辐射网的电流曲线

在正常运行时，越靠近电源侧线路中的负荷电流越大，而出现故障时的短路电流与故障点位置有关，故障点离电源点越近短路电流越大，故障点离电源点越远短路电流越小。负荷电流的大小与负荷密切相关。图 4 折线 1 中所示的是各段线路流过的最大负荷电流（所有用户负荷都接入时）的幅值。需要注意的是，正常运行时的负荷电流幅值远小于短路电流幅值，在图 4 中可以直接看出。图 4 中折线 1 代表负荷电流，曲线 2 和 3 表示的是短路电流，由图 4 可见，折线 1 在曲线 2、3 的下方，且幅值相差很大。

在实际应用中，对于像电流保护这样的过量继电保护装置，一般按照最大电气量（电流保护对应于最大短路电流）进行保护的整定，按照最小电气量（最小短路电流）进行校验。对于过量保护，其整定值越大，则灵敏度越低，保护的覆盖范围也越小，在实际应用时要综合考虑，选取合适的整定值。

阶段式电流保护共由三段保护构成，每段保护都是电流升高于保护值而动作，其主要区别就是每段保护装置动作的起动电流的幅值及动作时限不同。起动电流幅值较高的保护装置可以用较短的时限切除故障，但因为其动作阈值高所以灵敏度降低了，保护范围缩短；与之对应，当保护的起动电流值较低时，保护装置较为灵敏，保护范围增大，但其动作时限也随之增加。阶段式电流保护一般都是配合使用的，仅靠单独一种保护无法满足整个系统的继电保护要求。在实际应用中，可以根据需

要安装保护系统的线路类型及其负载，灵活地选择其中的两种或三种保护。

2. 其他保护选择

在对变电站过电流继电保护选择之后，就需要对其他继电保护装置进行选择，下面分别介绍。

（1）电压保护设计

继电保护装置中的电压保护是对变电站的相关线路的电压异常进行保护。电压保护可分为两种保护：一是电压过低时的保护；二是电压过高时的保护。如变电站出现了上述两种情况，这时一般采取的保护动作是跳闸。

（2）线路距离保护设计

继电保护装置中的线路距离保护是通过距离判断进行保护的一种保护技术。在这里所说的距离一般是指当发生故障时，发生故障的位置和继电保护装置之间的距离。如果在线路上某一个地方发生故障，那么此时线路中的电压和电流和正常时的不一样，通过检测此时的阻抗，即电压除以电流得到的值来进行保护。如果阻抗较小，保护动作速度快；如果阻抗较大，保护动作速度慢。

（3）线路的过负荷保护设计

继电保护装置中线路的过负荷保护就是当变电站的负荷超过了所规定负荷时的保护。这里要和过电流保护区别开来，过电流保护一般流过的电流大小远远超过过负荷保护中流过的电流。

(4) 线路差动保护设计

继电保护装置中线路的差动保护是指当出现了电流差就会进行动作的保护。差动保护的原理是利用电路基本原理中的基尔霍夫电流定律,即流入某一个节点的电流为零。当不为零时就说明出现了故障,因此差动保护一般用于保护变电站内的电气设备。

(5) 自动重合闸保护

继电保护装置中自动重合闸保护是指当变电站或者相关的线路发生了故障时,这时由于其他的保护装置已经产生了相关的动作,但是故障已经被切除。在这个场合下就需要自动重新合闸。一般来说三相重合闸的装设最为简单不用进行分相操作,低压线路一般适合装设三相重合闸,而分相重合闸适用于高压线路且只有高压线路才能进行分相操作。

3. 本变电站保护选择

根据上面对于变电站保护的概述,在本变电站设计时选择如下保护:

- 1) 电流速断保护。
- 2) 差动保护。
- 3) 过电压保护。
- 4) 自动重合闸保护。
- 5) 过负荷保护。
- 6) 过电流保护。

35 kV 变电站继电保护定值整定计算

1. 变压器保护整定原则及对主变压器保护的要求

前面已经确定了本 35 kV 变电站所需的继电保护装置。

首先是变电站中必不可少的保护,即气体保护、差动保护和电流速断保护。

其次是和上面的保护相互配合的保护,一共有两种,分别是过电流保护以及过负荷保护。

2. 气体保护

当变压器油箱内部发生故障时,由于故障点的电弧作用,将使变压器油局部受热分解产生气体,使继电器的触点动作,接通指定的控制回路,并及时发出信号或自动切除变压器,构成反应于上述气体而动作的保护装置称为瓦斯保护。瓦斯保护分为轻瓦斯保护和重瓦斯保

护,轻瓦斯保护作用于信号,重瓦斯保护作用于跳闸。

在为 35 kV 变电站进行瓦斯保护设计时,轻瓦斯保护动作值为 270 cm³,重瓦斯保护动作值是 0.8,采用的瓦斯保护继电器型号是 FJ3-80。

3. 纵联差动保护

本变电站的变压器数据见表 1。

表 1 变压器基本数据

名称	Y 形	Δ 形
额定电流/A	$I_{1e}=103.9$	$I_{2e}=346.4$
TA 接线方式	Y 形	Δ 形
TA 计算电流比	Δ 形	Y 形
实选 TA 电流比 n_1	200/5	400/5
实际额定电流/A	4.50	4.33
不平衡电流/A	4.50-4.33=0.17	
确定基本侧	基本侧	非基本侧

(1) 基本侧动作电流计算

1) 变压器中故障时的不平衡电流计算

$$I_{dz1} \geq K_K I_{bp} \quad (1)$$

利用实用计算式

$$I_{dz1} = K_K (K_{fzq} K_{tx} fI + \Delta U + \Delta fza) I_{d2lm ax} \quad (2)$$

式中, K_K 是变压器的可靠系数,为一个经验值; K_{fzq} 是非同期分量引起的误差; K_{tx} 是同型系数,在这里可以取值为 0.5; ΔU 是变压器调压时所产生的相对误差,采用调压百分数的一半; Δfza 的系数为 0.05。

代入本变电站的实际的数据可以得到数值

$$I_{dz1} = 1.3 \times (1 \times 1 \times 0.1 + 0.05 + 0.05) \times 1040 \text{ A} = 270.4 \text{ A}$$

2) 励磁电流计算

$$I_{dz1} = K_K I_e \quad (3)$$

代入本变电站的实际的数据可以得到

$$I_{dz1} = 1.3 \times 103.9 \text{ A} = 135.1 \text{ A}$$

3) 避开最大负荷电流

$$I_{dz1} = K_K T_{fl max} \quad (4)$$

代入本变电站的实际的数据可以得到

$$I_{dz1} = 1.3 \times 103.9 \text{ A} = 135.1 \text{ A}$$

比较式(2)~式(4)的动作电流,取最大值为计算值,即: $I_{dz1} = 270.4 \text{ A}$ 。

(2) 继电器动作电流和匝数计算

进行完上面的计算以后,需要对相关的继电器的动作电流进行计算,相关的计算公式为

$$I_{dzsl} = K_{jx} I_{dzl} / n_1 \quad (5)$$

代入本变电站的实际的数据可以得到

$$I_{dzsl} = \sqrt{3} \times 270.4 / 40 \text{ A} = 11.71 \text{ A}$$

基本侧继电器差动绕组匝数可以通过式(6)计算

$$W_{cdsl} = A_{w0} / I_{dzsl} \quad (6)$$

式(6)中, A_{w0} 取 60 安匝, 然后代入上面的数据, 得到差动绕组匝数为 5.12 匝。

完成计算以后, 可以把实际的整定匝数确定为 5 匝。利用式(4)~式(6)可以算出继电器的实际动作电流为 12 A, 利用式(5)计算出保护的实际行动电流为 277.1 A。

(3) 非基准位置平衡和工作绕组的匝数

利用式(7)

$$W_{phjsII} = W_{cdz} / I_{e2II} - W_{cdz} \quad (7)$$

计算出平衡绕组匝数 $5 \times (4.5 / 4.33 - 1) = 0.19$, 所以选择 0 匝。可以判断计算出来的匝数和实际匝数之间的误差为 0.04, 小于上面的 Δfza 的取值 0.05, 所以不需要重新计算。

(4) 灵敏度校验

灵敏度检验是对其进行保护设计时一个非常关键的步骤, 发生短路时, 35 kV 侧的短路电流为 0.817 kV·A, 通过下式

$$K_{lm} = 0.866 K_{jx} I_{dinin} / I_{dzl} \quad (8)$$

计算出灵敏度的值大于 2, 满足国家相关标准的要求。 $K_{lm} = 0.866 \times 1 \times 0.817 / 0.277 = 2.55$

4. 过电流保护

(1) 整定动作电流

$$I_{dz} = K_k I_{el} / K_h \quad (7)$$

式中, K_k 是可靠系数; K_h 是返回系数, 代入数据计算可得 146.7 A。

可算出继电器的动作电流为 $I_{dz} = I_{dz} / n_1 = 146.7 / (40 / \sqrt{3}) \text{ A} = 6.35 \text{ A}$, 所以这里可以选择 DL-21C/10 继电器。

(2) 短路校验

灵敏系数 $K_{1\pi} = 0.866 K_{jx} I_{ds1nII} / I_{dz} = 0.866 \times 1 \times 0.382 /$

$0.1467 = 2.26 > 2$, 通过计算, 该设计满足灵敏度的要求。

5. 过负荷保护

过负荷保护在变压器中是一个十分重要的保护, 本设计的继电保护经计算得到

$$\begin{cases} I_{d2} = K_k I_{el} / K_f = 1.05 \times 103.9 / 0.85 \text{ A} = 128.4 \text{ A} \\ I_{dzl} = I_{d2} / n_1 = 128.4 \times \sqrt{3} / 40 \text{ A} = 5.56 \text{ A} \end{cases} \quad (8)$$

6. 冷却风扇启动

$$\begin{cases} I_{dz} = 0.7 I_{el} = 0.7 \times 103.9 \text{ A} = 72.74 \text{ A} \\ I_{dzl} = I_{dz} / n_1 = 72.74 / (40 / \sqrt{3}) \text{ A} = 3.15 \text{ A} \end{cases} \quad (9)$$

通过计算, 如电流超过了 3.15, 冷却风扇自动启动。

继电保护自动化和防雷保护设计

1. 继电保护装置自动化功能要求

目前对继电保护装置的功能要求越来越高, 不仅要求继电保护装置具有传统的继电保护功能, 还要求具备一定的自动化功能。在本设计中继电保护装置还应该具有以下功能:

- 1) 具备一定的通信功能, 可以实现参数的实时远程监控。
- 2) 合闸以及脱闸功能不仅可以在本地实现, 还可以远程实现, 这两种功能互相关联。
- 3) 实现保护定值在上位机上可以进行显示和修改, 可以记录相关的历史数据。
- 4) 具备一定的报警功能。

2. 变电站继电保护自动化系统结构设计

设计中选用某继保电力公司的 THR2100 系统。THR2100 系统目前可以用在 110 kV 以下的变电站中。在本设计中, 该综合自动化系统有两个部分的结构需要设计: 一部分是对变电站本身的系统结构设计, 一部分是变电站网络结构设计。

(1) 35 kV 变电站系统结构设计

在本变电站中采用分层分布式的系统结构。即在该变电站中的自动化系统可以在设计时分成两部分: 其中一部分是站控部分; 另外一个部分是间隔部分。站控部分主要包括监控系统、通信管理系统以及辅助设备。间隔部分的设备主要有主控室内的屏组。具体设计的该变电站的结构如图 5 所示。

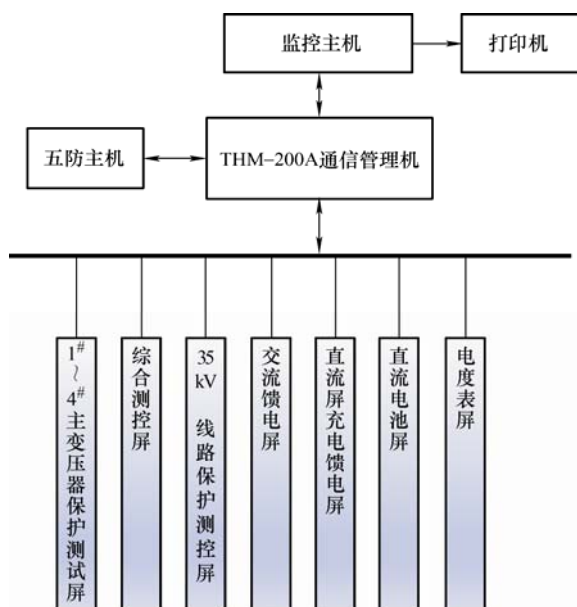


图5 变电站自动系统结构设计

(2) 35 kV 变电站网络设计

在本变电站中，由于是分布式设计，一共有两个部分的网络需要进行通信。因此在该变电站中，站控部分主要使用以太网来进行设备之间的互相通信，使用的协议为 TCP/IP。在该变电站的间隔部分中各个保护设备之间的通信采用的是现场总线，具备较强的抗干扰能力，在本设计中选取 CAN 通信协议。变电站具体的设计结构如图6所示。

3. 防雷保护设计

变电站电气设计需要考虑变电站防雷保护设计。一般情况下，雷击主要通过两个方面对变电站进行伤害：一是雷电直接击打在变电所上；二是当雷电击打在其他地方时，雷击产生的电流或者电波沿着线路输送给变电站，对变电站造成一定的损害。因此在对变电站进行防雷保护设计时，采用了避雷针和避雷器两种形式的防雷保护设计。

由于本变电站是 35 kV 的母线，所以通过查找相关的避雷器选择手册，选择 FZ-35 型避雷器。避雷针设计按规范选用。

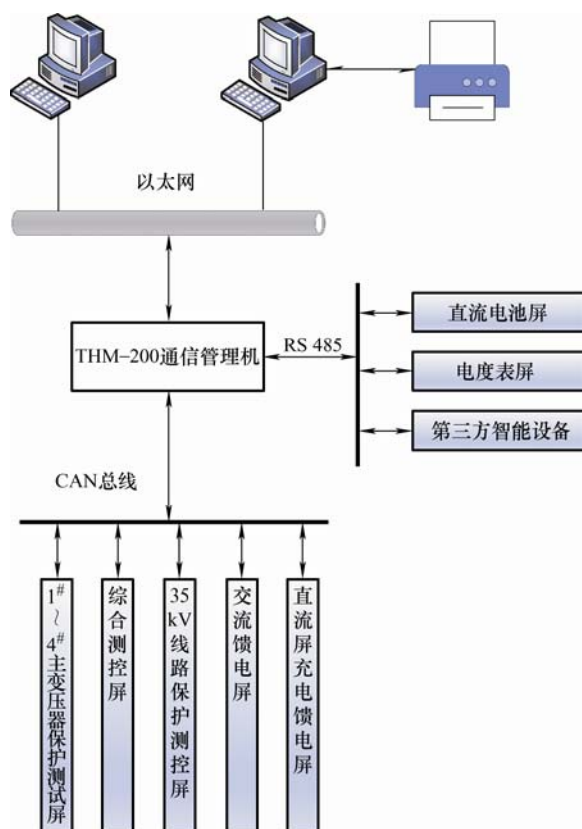


图6 变电站网络结构设计

结束语

本文介绍了研究目标的基本情况，即 35 kV 变电站的基本情况，包含 4 台主变压器，分别对三个地方进行电力供应。阐述了继电保护的目的是通过相应的设计流程和原则保障电力系统的安全。分别对 35 kV 变电站选择瓦斯保护、过电流保护、过负荷保护和重合闸保护等相应的继电保护装置。对这些继电保护装置进行相应的选型，满足保护的要求。设计了变电站继电保护自动化系统结构及防雷保护。本文设计的继电保护装置可以很好地完成继电保护的作用，保障电力系统的安全。EA

(收稿日期: 2021.02.02)

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告