

石油化工35 kV配电系统中性点经电阻接地计算浅析

随着石油化工装置中110 kV变电站的增多, 35 kV配电系统中性点的接地方式引起重视。由于石油化工企业35 kV配电系统主要使用电缆线路供电, 有效地限制系统各种过电压, 准确快速选线切除故障线路显得尤为重要。通过石油化工某110 kV变电站工程实例数据, 计算选取合理的35 kV侧中性点接地电阻值, 并简述了零序TA的配置及零序保护整定原则, 为今后选取合适的中性点接地电阻值提供了有效的依据。

张嘉嘉/中国石化工程建设有限公司



张嘉嘉/工程师

随着石油化工装置中110 kV变电站的增多, 35 kV配电系统中性点接地方式的选择引起重视。由于石油化工企业中的35 kV配电网主要使用电缆线路供电, 所以有效地限制系统各种过电压, 尤其是限制间歇性弧光接地过电压显得尤为重要。并且利用大的接地故障电流, 解决选线困难, 达到准确快速选线并切除故障线路的目的。

本文中工程实例的系统运行情况如下, 110 kV变电站有4台主变压器, 变压器电压比为110 kV/37 kV, 110 kV及35 kV侧均为星形联结方式, 每台主变压器各带一段35 kV母线。变压器110 kV侧中性点经保护间隙接地, 变压器35 kV侧中性点经电阻接地。按系统实际运行情况考虑, 其中1台主变压器至多可带2段35 kV母线负荷或其中2台主变压器并列运行同时带2段35 kV母线负

荷, 35 kV出线回路均为电缆出线。

系统电容电流计算

考虑35 kV出线回路电缆规格主要为ZRA-YJV22-26/35-3×120、ZRA-YJV22-26/35-3×150和ZRA-YJV22-26/35-3×185, 故35 kV配电系统中性点电阻的选择主要依据系统的电容电流 I_C , 并按照系统电容电流的最大情况考虑。

1. I、II段母线系统电容电流计算

I、II段母线电缆规格及长度合计如表1所示。

根据工业与民用配电设计手册第三版^[1]第153页表4-20数值计算得I段母线系统电容电流 $I_{C1}=60.61$ A, II段母线系统电容电流 $I_{C2}=52.47$ A。根据工业与民用配电设计手册第三版^[1]第153页表4-20中变电所增加的接地电容电流值得I段母线系统总电容电流 $I_{C1总}=68.49$ A, II段母线系统总电容电流 $I_{C2总}=59.29$ A。

2. III、IV段母线系统电容电流计算

III、IV段母线电缆规格及长度合计如表2所示。

表1 I、II段母线电缆规格长度 (单位: km)

电缆规格	I段母线电缆长度合计	II段母线电缆长度合计
ZRA-YJV22-26/35-3×120	6.758	7.852
ZRA-YJV22-26/35-3×150	4.865	2.349
ZRA-YJV22-26/35-3×185	1.447	1.447

表2 III、IV段母线电缆规格长度 (单位: km)

电缆规格	III段母线电缆长度合计	IV段母线电缆长度合计
ZRA-YJV22-26/35-3×120	4.387	4.387
ZRA-YJV22-26/35-3×150	4.822	4.316

关键词/Keywords

110 kV变电站·
中性点·
接地方式·
电阻接地·

经计算并考虑变电所增加的接地电容电流值,得出Ⅲ段母线系统总电容电流 $I_{C_{\text{总}}}=47.9\text{ A}$,Ⅳ段母线系统总电容电流 $I_{C_{\text{总}}}=45.22\text{ A}$ 。

综合上述计算得出35 kV母线系统Ⅰ、Ⅱ段母线负荷系统电容电流较大,即系统最大电容电流按68.49 A考虑。

中性点接地电阻选择

根据交流电气装置的过电压保护和绝缘配合DL/T 620—1997^[2]中3.1.4条描述:6~35 kV主要由电缆线路构成的送、配电系统,单相接地故障电容电流较大时,可采用低电阻接地方式,但应考虑供电可靠性要求、故障时瞬态电压及瞬态电流对电器设备的影响、对通信的影响和继电保护技术要求以及本地的运行经验等。

1. 供电可靠性

单相接地故障是电网中最经常发生的故障。该故障发生时,可以扰乱继电保护装置的选择性。虽在单相接地时,中性点不直接接地或经消弧线圈接地系统可持续运行2 h,但非故障相的工频电压升高,会破坏电缆绝缘,甚至会发生击穿,进而发展成为更为严重的事故。电缆线路发生单相接地故障时,多为永久性故障。为了避免扩大故障影响的范围及持续破坏电缆绝缘,通常当35 kV配电系统为电缆供电时,发生单相接地故障经过短暂延时即跳闸,以保证供电的可靠性。

中性点不接地电网发生单相接地故障时,系统的内部过电压水平时常会达到3.5~4倍的相电压,对电缆、全封闭组合电器的绝缘水平要求较高。避雷器如长时间工作在工频过电压水平下,也会发生损坏或者爆炸的情况。因而不宜单相接地带故障持续运行。

2. 降低配电系统过电压水平

中性点经电阻接地方式可以降低配电系统的弧光接地过电压水平,从而保证配电系统电气设备的安全运行。根据国内有关机构做的EMTP程序计算、过电压模拟装置的实际模拟及各地区运行经验表明,弧光接地过电压水平随着电阻的额定通流 I_R 增加而降低, I_C 为系统电容电流。

- 1) 当 $I_R \approx I_C$ 时,过电压水平可降到2.5(pu)以下。
- 2) 当 $I_R \approx 2I_C$ 时,过电压水平可降到2.2(pu)以下。
- 3) 当 $I_R \approx 4I_C$ 时,过电压水平可降到2.0(pu)以下。
- 4) 但当 $I_R > 4I_C$ 时,降低过电压的作用已不明显。

中性点经电阻接地系统中的内部过电压,主要指健全相的工频过电压。其电弧接地过电压,通常由于 R_N 的存在而被限制在较低水平。这是因为电弧燃息过程中系统的多余电荷,在从电弧熄灭到重燃的1/2工频周期内被 R_N 泄放掉。当 $R_N < (1 \sim 2)/3\omega C$,过电压一般不大于相电压的2.1倍。

经推导可得健全相电压升高值与故障相电压 U_a 的比值 K_b 、 K_c 如下

$$K_b = \frac{U_b}{U_a} = \frac{3}{2} \times \sqrt{1 + \left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (1)$$

$$K_c = \frac{U_c}{U_a} = \frac{3}{2} \times \sqrt{1 + \left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (2)$$

给出不同的 $\beta = I_R/I_C$ 值,即可算出相应的健全相电压升高值与故障相电压 U_a 的比值 K_b 、 K_c 。选取 $I_R = 200\text{ A}$,验证各种运行情况下的工频过电压及间歇性弧光过电压。

当1台主变压器带2段35 kV母线时, $\beta = I_R/I_C = 200\text{ A}/68.49\text{ A} = 2.92$, $K_b = K_c = 1.57(\text{pu})$,得出选配 $I_R = 200\text{ A}$ 能够将系统的工频过电压水平限制在1.57(pu)以内;同时 $\beta = 2.92$,可将间歇性弧光过电压水平限制在2.0~2.2(pu)之间。

当4台主变压器分列运行时, $\beta = I_R/I_C = 200\text{ A}/(68.49\text{ A}/2) = 5.84$, $K_b = K_c = 1.62(\text{pu})$,得出选配 $I_R = 200\text{ A}$ 能够将系统的工频过电压水平限制在1.62(pu)以内;同时 $\beta = 5.84$,可将间歇性弧光过电压水平限制在2.0(pu)以内。

当2台主变压器并列运行,35 kV系统中有2台电阻接地时, $\beta = I_R/I_C = 400\text{ A}/68.49\text{ A} = 5.84$, $K_b = K_c = 1.62(\text{pu})$,得出选配 $I_R = 200\text{ A}$ 能够将系统的工频过电压水平限制在1.62(pu)以内;同时 $\beta = 5.84$,也能将间歇性弧光过电压水平限制在2.0(pu)以内。

综合上述计算,当电阻额定通流 $I_R = 200\text{ A}$ 时,汇总如表3所示。

3. 保护整定

当35 kV配电系统某一条线路发生接地故障

表3 $I_R=200$ A时工频过电压及间歇性弧光过电压水平

(单位: pu)

运行情况	工频过电压	间歇性弧光过电压
1台主变压器带2段35 kV母线	1.57	2.0~2.2之间
4台主变压器分列运行	1.62	小于2.0
2台主变压器并列运行, 有2台电阻接地	1.62	小于2.0

时, 接地故障电流如下式

$$I_{jd} = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_0)^2} \quad (3)$$

式中, I_0 为故障电缆本身的电容电流, 与整个系统总的电容电流相比较很小, 在计算时可以忽略不计。对应于上文中三种情况的接地故障电流计算如下

$$\begin{aligned} I_{jd1} &= \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = \sqrt{200^2 + 68.49^2} \text{ A} = 211.4 \text{ A} \\ I_{jd2} &= \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = \sqrt{200^2 + (68.49/2)^2} \text{ A} = 202.9 \text{ A} \\ I_{jd3} &= \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = \sqrt{(2 \times 200)^2 + 68.49^2} \text{ A} = 405.8 \text{ A} \end{aligned} \quad (4)$$

从保证继电保护灵敏度考虑, 电阻值越小即流过电阻的电流越大越好。目前应用的微机保护装置一般都具有零序保护功能, 且起动的电流值很小, 单相接地故障电流远大于每条线路的对地电容电流, 可以满足零序保护的灵敏度要求。单相接地故障时, 中性点经电阻接地比中性点经消弧线圈接地故障电流大, 更易准确判别故障线路, 并解除故障, 达到保护的效果。

4. 人身安全

从人身安全考虑, 中性点接地电阻的通流越小越好。当中性点经低电阻接地并发生单相接地故障时, 通过故障的接地短路电流较大, 引起故障点地电位升高, 有可能造成跨步电压, 接触电势超过允许值。本文中经计算得到的接地故障电流最大为 $I_{jd3}=405.8$ A, 该区域土壤电阻率参数为 $500 \Omega \cdot \text{m}$ 。按照该值计算接触电压 U_t 和跨步电压 U_s 。计算值与允许值如表4所示。

表4 接触电压、跨步电压计算值与允许值对比

(单位: V)

项目	接触电压 U_t	跨步电压 U_s
电压允许值	236.43	478.34
计算电压值	76.77	32.61

从表4中可看出, 计算得到的接触电压和跨步电压的数值小于电压允许值, 可以保证人身安全。

再者, 工作人员在操作及行走的过程中, 可能会触碰金属梯杆或误碰带电导体。当中性点经电阻接地时, 故障线路及时发现并切除, 可以有效地减少故障时人员触电的几率。

5. 对通信的影响

根据输电线路对电信线路危险和干扰影响防护设计规程DL/T 5033—2006^[3]中3.0.1条描述: 输电线路对临近电信线路可能产生危险影响的故障状态, 应考虑下列几种情况。

1) 三相对称中性点直接接地系统的输电线路一相接地短路。

2) 三相对称中性点不直接接地系统的输电线路两相在不同地点同时接地短路。

3) 三相对称中性点不直接接地系统的输电线路一相接地短路。

本文中叙述的工程实例应考虑输电线路一相接地短路的情况, 即单相接地短路故障的情况。根据DL/T 5033—2006^[3]中第4.1.2条及表4.1.2-1中描述: 在输电线路故障状态下, 电信明线上的磁感应电压(包含磁感应纵电动势和磁感应对地电压)应符合如表5所示的规定。

表5 基本电压允许值

(单位: V)

输电线路	允许电压
高可靠输电线路	650
其他输电线路	430

其中高可靠输电线路是按照《电力线路设计技术规程》的规定进行设计并施工的电力线路, 其杆塔和导线的力学性能较一般电力线路高, 故障率低, 其故障切除时间在大多数情况下, 应小于0.2 s, 绝不能超过0.5 s。

在目前已知运行的电力系统中, 10 kV单相接地故障短路电流1 kA, 35 kV单相接地故障短路电流2 kA是允许的。

6. 中性点接地电阻阻值计算

中性点接地电阻的选择从降低配电系统过电压

水平、考虑保护整定、考虑人身安全及考虑对通信的影响等方面进行了叙述。综上所述,选取发生单相接地故障时流过电阻的额定电流 $I_R=200\text{ A}$,得出35 kV供电系统中性点接地电阻值为 $101\ \Omega$,电阻器额定通流时间按10 s考虑。

零序TA的配置及零序保护整定

1. 保护配置原则

文中的工程实例采用定时限零序过电流保护,零序过电流保护可以准确判断出故障线路,实现有选择性的断开故障线路。零序电流的获取采用专用的零序电流互感器。每条35 kV馈出线首端配置零序电流保护,110 kV变压器35 kV侧进线间隔装设反映单相接地故障的零序保护,作为母线单相接地故障的主保护和馈线单相接地的后备保护。

2. 零序电流保护的一次动作电流

(1) 馈线路单相接地保护

馈线路单相接地保护的一次动作电流按躲过被保护线路本身的单相接地电容电流进行整定。根据工业与民用配电设计手册第三版^[1]第310页表7-13,保护装置的一次动作电流 I_{op} 应满足下式

$$I_{op} \geq K_{rel} I_{CX} \quad (5)$$

$$I_{op} \leq \frac{I_{CZ} - I_{CX}}{1.25} \quad (6)$$

式中, I_{op} 为保护装置一次动作电流; I_{CZ} 为35 kV电网的总单相接地电容电流; I_{CX} 为被保护线路外部发生单相接地故障时,从被保护元件流出的电容电流; K_{rel} 为可靠系数,按1.25整定。各条35 kV出线回路电缆的电容电流在5 A左右,考虑到35 kV系统中性点不平衡电压,及躲过部分瞬时的故障,各条35 kV出线回路电缆接地保护动作电流 $I_{op}=20\text{ A}$,动作时限0.1 s。

(2) 母线单相接地保护

母线单相接地保护装置的一次动作电流按躲过各条35 kV出线回路中单相接地电容电流最大馈线的单相接地电容电流值,同时作为馈线路单相接地保护的后备保护。母线单相接地保护动作电流 $I_{op}=30\text{ A}$,动作时限1 s。

结束语

本文对石油化工某110 kV变电站的35 kV经电缆进行配电的系统进行分析计算,最终选取的35 kV中性点接地电阻值为 $101\ \Omega$ 。经过计算,该阻值可满足对于供电可靠性、配电系统过电压水平、保护整定、人身安全及通信的各种要求。并对馈线路单相接地保护及母线单相接地保护进行了整定计算,得出了合理的数值,可以满足石油化工35 kV经电缆配电系统的要求。

中性点接地电阻值的选取受配电系统过电压水平、保护整定、人身安全和通信等多方面影响,故可根据上述要求结合实际情况灵活地选取35 kV配电系统的中性点电阻值,保证35 kV供电系统安全可靠地运行。

参考文献

- [1] 中国航空工业规划设计研究院. 工业与民用配电设计手册 [M]. 3版. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [2] 中华人民共和国电力工业部. DL/T 620—1997 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合 [S]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
- [3] 中国电力企业联合会. DL/T 5033—2006 输电线路对电信线路危险和干扰影响防护设计规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2006.

(收稿日期: 2015-02-10) **EA**

声 明

本刊2015年第14期刊登的《基于神经网络优化UKF算法的锂电池SOC估计》撤销,特此声明。

《电气应用》编辑部