

文章编号: 1000-582X(2002)07-0072-03

山区 35 kV 线路防雷值得注意的一个问题*

袁涛, 刘渝根, 陈先禄

(重庆大学 高电压与电工新技术教育部重点实验室, 重庆 400044)

摘要:我国山区 35 kV 电网广泛地采用了中性点经消弧线圈接地的运行方式, 利用消弧线圈电感电流的补偿作用抵消接地点的容性电流, 使工频续流电弧自动熄灭, 系统恢复正常, 但消弧线圈的整定条件要求高, 难于同时兼顾。通过对某山区经消弧线圈接地的 35 kV 系统单相接地电容电流的实测, 分析了该系统不带消弧线圈和带消弧线圈时系统三相电压不平衡问题, 及消弧线圈的运行状况, 提出了消弧线圈运行和在降低线路雷击跳闸率时必须重视三相对地电容不对称的问题。

关键词:消弧线圈; 三相电压不平衡; 线路雷击跳闸率

中图分类号: TM863

文献标识码: A

35 kV 电网在我国电力工业中特别是在以架空线为主的近郊及农村供电网中占有相当重要的地位。由于 35 kV 电网的特殊性, 故在线路防雷中有以下的特点:

1) 以架空线为主的 35 kV 线路多经过山区, 连绵不断地分布在旷野上, 极易遭雷击。绝大多数 35 kV 线路为 3~4 片绝缘子, 本身的绝缘水平较低。当雷击架空线路时, 不论是感应雷过电压还是直击雷过电压都极易引起绝缘子闪络^[1]。通过降低线路杆塔接地电阻等措施在一定程度上可提高线路耐雷水平和降低绝缘子闪络概率, 但要保证绝缘子不发生闪络是不大可能的。因此降低 35 kV 线路雷击跳闸率的关键是使线路因雷击引起单相接地时的工频续流尽早熄弧, 避免单相接地发展成相间短路而导致线路跳闸^[2]。

2) 我国规程规定, 35 kV 系统单相接地电流小于 10 A 时, 中性点的运行方式为绝缘运行方式, 单相接地电流大于 10 A 时应采用中性点经消弧线圈接地的运行方式。当雷击引起线路单相接地后, 流过故障点的雷电流瞬时即过, 通过冲击闪络通道以电弧形式出现的工频续流一般在小于 10 A 时会自动熄灭, 系统恢复正常^[3]。而当工频续流大于 10 A 时电弧往往不会自动熄灭, 一般电网工频续流又不会形成稳定燃烧的电弧, 从而导致工频续流时燃时灭, 在系统中引起持续时间较长的弧光接地过电压, 危及一些绝缘水平较低设备的运行安全。同时在工频续流时燃时灭时, 如果

线路又遭受雷击, 引起其它相闪络, 就会造成相间短路引起线路跳闸, 造成停电。

我国山区 35 kV 电网广泛地采用了中性点经消弧线圈接地的运行方式。消弧线圈消弧的基本原理就是在线路发生单相接地时利用消弧线圈的电感电流抵消接地点的容性电流, 使工频续流小于 10 A, 便于电弧自动熄灭, 系统恢复正常。所以消弧线圈的运行状况对工频续流的自动熄灭以及对降低线路雷击跳闸率有其实际意义^[4]。为此, 对某中性点经消弧线圈接地的 35 kV 电网单相接地电容电流进行了实测, 并对消弧线圈的运行状况进行了分析。

1 三相对地电容及不对称度计算

笔者对某线路总长 112 km 的 35 kV 中性点经消弧线圈接地系统单相接地电容电流进行了实测, 本次试验是在设备不停电的情况下进行, 采用人工接地法, 用母线上出线开关作为接地回路, 在接地线与地之间串入测量 CT 和表计, 读取系统单相接地电容电流值 (见表 1)。

表 1 系统单相接地电容电流值

U_a/kV	U_b/kV	U_c/kV	I_d/A	$\theta/(^\circ)$
0	35.7	35.35	12.2	58
35.35	0	35.7	12.8	60
35.35	35.35	0	12.2	242

* 收稿日期: 2002-02-26

作者简介: 袁涛(1976-), 男, 四川眉山人, 重庆大学硕士研究生。主要从事电力系统过电压方向研究。

测得的电容电流记为 $I_a = 12.2 \text{ A}$, $I_b = 12.8 \text{ A}$, $I_c = 12.2 \text{ A}$ 为同一运行方式下 A、B、C 相分别对地短路时的电容电流, 分别为 BC 相、AC 相、AB 相对地电容电流的叠加:

$$I_a = 12.2 \text{ A} = \omega C_b U_b \cos 28^\circ + \omega C_c U_c \cos 32^\circ = 314 \times (C_b \times 35\ 700 \times \cos 28^\circ + C_c \times 35\ 350 \times \cos 32^\circ)$$

$$I_b = 12.8 \text{ A} = \omega C_a U_a \cos 30^\circ + \omega C_c U_c \cos 30^\circ = 314 \times (C_a \times 35\ 350 \times \cos 30^\circ + C_c \times 35\ 700 \times \cos 30^\circ)$$

$$I_c = 12.2 \text{ A} = \omega C_a U_a \cos 28^\circ + \omega C_b U_b \cos 30^\circ = 314 \times (C_a \times 35\ 350 \times \cos 28^\circ + C_b \times 35\ 700 \times \cos 32^\circ)$$

所以 $C_a = 0.664 \mu\text{f}$ $C_b = 0.602 \mu\text{f}$ $C_c = 0.661 \mu\text{f}$

系统的不对称度:

$$\dot{v}(C_a + C_b a^2 + C_c a)/(C_a + C_b + C_c) = 0.345 + 0.312 a^2 + 0.343 a$$

$$a = e^{j120^\circ} \quad a^2 = e^{j240^\circ}$$

2 消弧线圈的运行状况分析

该系统所带消弧线圈型号为 XDJ-550/35, 各档补偿电感电流及相应电感值(见表 2)。

表 2 各档位补偿电流及相应电感值

档位	电感电流/A	电感值/H
I	12.5	5.10
II	13.6	4.73
III	14.8	4.35
IV	16.2	3.97
V	17.7	3.64
VI	19.3	3.33
VII	21.0	3.06
VIII	22.9	2.81
IX	25.0	2.57

1) 系统不带消弧线圈正常运行时, 三相电压计算系统简化等值电路(见图 1)^[5,6]。

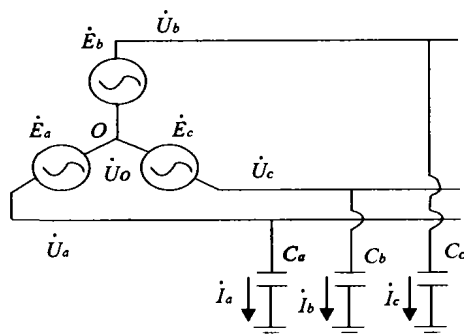


图 1 无消弧线圈时等值电路图

这时 $\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0$ 即:

$$j\omega C_a (E_a + U_o) + j\omega C_b (E_b + U_o) + j\omega C_c (E_c + U_o) = 0$$

$$\dot{U}_o = -(C_a E_a + C_b E_b + C_c E_c) / (C_a + C_b + C_c)$$

以 E_a 为参考量, $E_b = a^2 E_a$ $E_c = a E_a$

$$\dot{U}_o = -v E_a = -(0.345 + 0.312 a^2 + 0.343 a) \times 35 \div \sqrt{3} = -6.97 - 6.30 a^2 - 6.93 a = -0.35 - j0.54 (\text{kV})$$

可得三相导线电压:

$$\dot{U}_a = E_a + U_o = 35 \div \sqrt{3} - 0.35 - j0.54 = 20.56 - j0.54 = 20.57 e^{j-1.5^\circ}$$

$$\dot{U}_b = E_b + U_o = 35 \div \sqrt{3} e^{j240^\circ} - 0.35 - j0.54 = -10.45 - j18.04 = 20.85 e^{j239.92^\circ} \text{ kV}$$

$$\dot{U}_c = E_c + U_o = 35 \div \sqrt{3} e^{j120^\circ} - 0.35 - j0.54 = -10.45 + j16.96 = 19.92 e^{j121.64^\circ} \text{ kV}$$

可以看出, 系统不带消弧线圈时, 三相电压较平衡。

2) 当系统带消弧线圈运行时, 三相电压计算系统简化等值电路如图 2 所示。

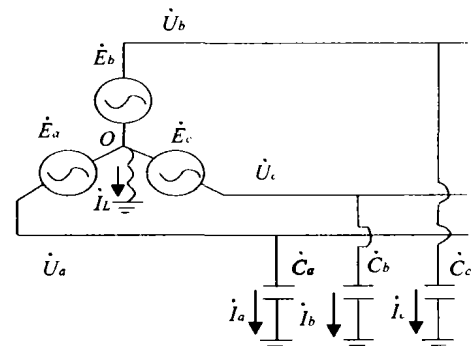


图 2 有消弧线圈时等值电路图

系统正常运行时 $\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c + \dot{I}_L = 0$

其中

$$\dot{I}_a = j\omega C_a U_a = j\omega C_a (E_a + U_o)$$

$$\dot{I}_b = j\omega C_b U_b = j\omega C_b (E_b + U_o)$$

$$\dot{I}_c = j\omega C_c U_c = j\omega C_c (E_c + U_o)$$

$$\dot{I}_L = U_o \div j\omega L$$

L 为消弧线圈对应档位的电感值

$$\dot{U}_o = -(j\omega C_a E_a + j\omega C_b E_b + j\omega C_c E_c) \div [(j\omega C_a + j\omega C_b + j\omega C_c) - j/\omega L] = -(j\omega C_a + j\omega C_b a^2 + j\omega C_c a) E_a \div [(j\omega C_a + j\omega C_b + j\omega C_c) - j/\omega L] = -v E_a \div v_0$$

$$v_0 = [j\omega (C_a + C_b + C_c) - j/\omega L] \div j\omega (C_a + C_b + C_c)$$

v_0 为电网的脱谐度

电网的补偿度 = $-v_0$

$$\text{三相电压最大不平衡 \%} = (U_{\text{MAX}} - U_{\text{MIN}}) \div U_{\text{MAX}}$$

系统单相接地时, 补偿后的接地电流 = 消弧线圈电感电流

-单相接地电容电流单相接地电容电流 = 12.8(12.2)/A

消弧线圈分别运行各档时,系统正常运行三相电

压、三相电压不平衡度,以及系统单相接地时对应的补偿度和补偿后的残流见表3。

表3 系统正常运行与发生单相接地故障时的各项参数

消弧线圈档位	消弧线圈电感 L/H	电感电流/A	中性点位移电压 U_0 /kV	A相电压 U_a /kV	B相电压 U_b /kV	C相电压 U_c /kV	三相电压最大不平衡度/%	单相接地时补偿后接地电流/A	补偿度/%
I	5.01	12.5	21.30	36.18	1.19	35.71	96.71	-0.3(0.3)	3.2
II	4.73	13.6	5.33	23.73	14.91	22.90	37.17	0.8(1.4)	11.3
III	4.35	14.8	3.10	22.05	17.11	21.79	24.60	2.0(2.6)	21.0
IV	3.97	16.2	1.97	21.34	18.24	21.18	14.50	3.4(4.0)	33.0
V	3.64	17.7	1.45	21.03	18.76	20.90	10.79	4.9(5.5)	45.0
VI	3.33	19.3	1.21	20.84	19.09	20.74	8.40	6.5(7.0)	58.0
VII	3.06	21.0	0.90	20.71	19.30	20.63	6.80	8.2(8.8)	72.0
VIII	2.81	22.9	0.74	20.62	19.46	20.56	5.60	10.0(10.7)	87.3
IX	2.57	25.0	0.60	20.54	19.60	20.49	4.60	12.0(12.8)	108.0

在带消弧线圈运行的系统中,消弧线圈的整定必须兼顾3个条件:

- 1) 有合适的补偿度,一般应控制在5%~10%内;
- 2) 对35 kV系统,单相接地消弧线圈补偿后工频续流应控制在3~10 A内;
- 3) 系统带消弧线圈正常运行时,中性点位移电压规程规定 $<15\% U_0$,考虑到三相电压的平衡,以 $<5\% U_0$ 为宜。

从表3的计算结果可以看出,由于35 kV线路不进行均匀换位,存在线路三相对地电容不对称情况,造成三相电压不对称。当中性点带上消弧线圈运行,这种不对称会比中性点绝缘运行方式更大。消弧线圈运行时的整定几乎不能同时兼顾3个条件。在系统正常运行时,如果按正常情况整定消弧线圈档位由于三相电压严重不平衡,甚至引发接地信号,往往运行值班人员将消弧线圈的档位调高,满足三相电压的平衡,结果增大了电感电流补偿度。这样,在系统因雷击发生单相接地故障时,由于消弧线圈补偿度过大,经补偿后的单相接地电流由容性电流变为感性电流甚至超过10 A,这个感性的工频续流同样不能自然熄灭,时燃时灭,造成弧光接地过电压或者因其它相又发生单相接地,引起线路跳闸。

3 结论

通过对35 kV消弧线圈运行状况分析,得到如下结论:

- 1) 由于我国35 kV线路都不进行均匀换位,山区长线路往往存在三相对地电容不对称。系统正常运行时线路三相对地电容不对称可造成三相电压不平衡,中性点带上消弧线圈运行时这种不平衡度更大。按正

常情况整定消弧线圈档位可能引起三相电压严重不平衡。为了满足三相电压的平衡而调高消弧线圈档位,这样往往增大了电感电流补偿度。在系统因雷击发生单相接地故障时,经消弧线圈补偿后的工频续流降低不多甚至增大还可能超过10 A,达不到熄灭电弧的目的,发挥不了消弧线圈消弧作用,进而造成线路雷击跳闸率上升,所以消弧线圈的运行状况对降低线路雷击跳闸率至关重要;

- 2) 消弧线圈的主要作用是雷击引起线路单相接地时补偿工频续流以便自然熄弧,而这一过程是运行人员不能观察到的。所以对山区长线路的35 kV线路,如果存在线路雷击跳闸率高的情况,就应该分析其消弧线圈的运行状况;

- 3) 因此在实际的35 kV线路防雷运行时,既要兼顾带消弧线圈正常运行时系统三相电压的平衡问题又要兼顾单相接地时消弧线圈的消弧作用问题,所以对山区长线路就需重视三相对地电容不对称问题。

参考文献:

- [1] 张重诚. 山区雷电的特殊象征分析与防直接雷击[J]. 高电压技术, 1998, (3): 79-80, 84.
- [2] 刘继. 电气装置的过电压保护[M]. 北京: 电力工业出版社, 1982.
- [3] 解光润. 电力系统过电压[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.
- [4] 吴维诚, 毛钧寿, 王一宇. 高压输电系统的中性点接地[M]. 北京: 中国工业出版社, 1966.
- [5] 李谦, 勤晓东, 王晓瑜, 等. 配电系统中性点经电阻接地方式限制弧光接地过电压的仿真研究[J]. 广西电力技术, 1995, (1): 8-15, 35.
- [6] 戴玉松, 颜怀梁. 考虑冲击电晕时的一种多相线等值电路模型[J]. 中国电机工程学报, 1997, (9): 339-343.

(下转第83页)

Alumina – based Composite Materials for Prefabricated Iron Runner

GAO Jia - cheng¹, WANG Wei², CHEN Hao², WANG Yong¹

(1. College of Material Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Materials Factory, Chongqing Iron and Steel Company, Chongqing 400040, China)

Abstract: The relationship between the properties of the composite and the addition of the preventing crack additives, dispersion agent, SiC, graphite, stainless steel fiber have been researched. Finally, alumina – based composite materials used for prefabricated iron runner with better ratio of properties and price has been developed by the studying of the properties and microstructure of alumina based composite materials. The best composition for the iron line is $Al_2O_3 - 14\% SiC - 5\% G - 4\% SiO_2 - 2\% \text{micropoeder} - 1\% \text{white clay} - 6\% \text{cement}$; the best composition for the slag line is $Al_2O_3 - 16\% SiC - 5\% G - 4\% SiO_2 - 2\% \text{micropoeder} - 1\% \text{white clay} - 6\% \text{cement}$; addition of both is $0.15\% Na_5P_3O_{10} - 3B \text{ aluminum powder} - 2\% \text{stainless steel fiber}$. The mechanism on the composite materials eroded by molten iron has also been discussed.

Key words: alumina; composite; prefabricated iron runner; steel fiber

(责任编辑 李胜春)

(上接第 74 页)

An Attentive Problem of 35 kV Power Lines in Mountain Area on Protecting Against

YUAN Tao, LIU Yu - gen, CHEN Xian - lu

(Key Laboratory of High Voltage Engineer and Electrical New Technology, Ministry of Education,
Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: To counteract capacitive current and resume power system, the neutral point of 35 kV power system at the mountainous area is grounding through the arc winding widely. In fact, there is great difficult in selecting the arc winding to satisfy the requirement of system. In a 35 kV power system which neutral point is grounding through the arc winding, the capacitance current are measured in site when a single – phase is grounding. From the measure data, the imbalance of three – phase voltage whether the arc winding exist or not and the operating situation of arc winding are discussed, and bring forward an attentive problem about operation of arc winding and decrease of lightning outage rates.

Key words: arc winding; imbalance of three – phase voltage; lightning outage rate

(责任编辑 陈移峰)