

带电开口运行开关防雷击过电压的探讨

施中郎

(衢州电力局, 浙江 衢州 324002)

Research on Electrified-opened-switch Protected from Lightning Overvoltage

SHI Zhong-lang

(Quzhou Electric Power Bureau, Quzhou 324002, China)

摘要:从过电压的折射和反射的原理出发,分析了带电开口运行开关容易遭受雷电过电压损坏的根本原因,提出了相应的改进保护措施。

关键词:雷电过电压; 开关; 分析

中图分类号: TM863

文献标识码: B

Abstract: Based on the principle of refraction and reflection, it is analyzed why electrified-opened-switch is easy damaged by lightning overvoltage. Therefore, the corresponding protecting measures are suggested.

Key words: lightning overvoltage; switchgear; analysis

1 引言

衢州电力局管辖的电网地处华东, 滨临东海, 年平均雷暴日多在 40~80 天之间, 属多雷地区, 且多崇山峻岭。每值雷雨季节, 沿线 110 kV 变电所的电气设备屡遭雷损, 尤其是 35 kV 带电开口运行的开关更为严重, 严重影响了供电的安全性和可靠性。然而所有这些变电所均已按原电力工业部《电力设备过电压保护设计技术规程》装有符合规范的避雷设施, 但雷害仍居高不下。因此, 有必要对防雷击过电压的问题进行仔细研究。笔者结合衢州电力局虹桥变电所和开虹变电所遭受雷击过电压后开关事故分析, 提出了带电开口运行开关防雷击过电压的具体防范措施。

2 事故简介

在变电所中, 绝大多数情况下, 雷电过电压是沿着线路向变电所入侵, 形成雷电入侵波, 威胁变电所内的设备安全。尤其是 35 kV 带电开口运行开关更容易遭受雷电过电压, 使其损坏。下面来分析衢州电力局虹桥变电所 35 kV 开虹开关遭受雷击过电压后开关的事故情况。

衢州电力局 2002 年 04 月 22 日、2003 年 06 月 24 日 110 kV 虹桥变开虹 3403 两起开关烧毁的具体情况如下:

2.1 设备情况

110 kV 虹桥变 35 kV 配电装置选用 GBC-40.5 型手车式开关柜, 内附真空断路器型号: ZN23-40.5/1600-25 断路器, 其额定绝缘水平: 雷电冲击耐压值为 185 kV (相间、相对地)/215 kV (一次隔离断口)。2002 年投入运行。

3403 线路采用 LGJ-120, 长度 15.41 km, 进线段两侧 1 km 架设架空避雷线。虹桥变侧装有氧化锌避雷器, 避雷器距开关断口约 15 m。

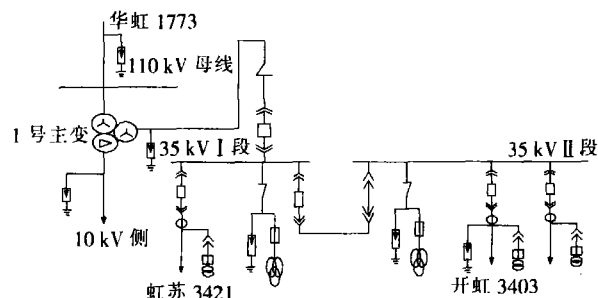
2.2 运行方式

110 kV 虹桥变由华虹 1773 线主送电源, 1 号主变及三侧开关运行; 35 kV 母线 I、II 段并列运行, 虹苏 3421 线运行、虹池 3420 线充电运行、开虹 3403 开关热备用 (对侧开化变; 充电运行), 10 kV I、II 段母线及压变, 10 kV 母分开关运行, 相应 10 kV 线路运行。开虹 3403 自动装置对虹桥自投, 运行方式见图 1。

2.3 事故经过

(1) 开虹 3403 线开关烧毁经过

2002 年 04 月 22 日 08 时 08 分, 35 kV 母分开关过流 I、II 段动作跳闸, 重合闸动作成功。同时, 虹池 3420、开虹 3403 开关保护装置报警; 开虹 3403



收稿日期: 2005-06-24; 修回日期: 2005-08-09

作者简介: 施中郎 (1964-), 男, 高级工程师, 硕士, 长期从事高压开关设备的检修技术管理工作。

合闸加速动作;小电流选线动作,虹苏3421线接地。

09时20分,拉开35kV母分开关后进入开关室,(当时35kV II段母线带虹池3420线充电线路运行),检查发现,开虹3403开关本体烧毁。

10时47分,调度正令:①开虹3403自动装置由对虹桥自投改停用;②35kV II段母线压变由运行改检修;③开虹3403开关由热备用改检修。11时54分操作完毕。

(2)开虹3403线开关再次烧毁经过

2003年06月24日凌晨04时24分,35kV母分开关过流I,II段动作,开关分闸重合失败。05时05分,值班员赶到变电所现场检查发现35kV开关室有烟雾(烟雾报警装置未动作),开启排风扇后检查发现,开虹3403开关有烧毁痕迹。06时16分,开虹3403开关拉出柜外后发现,开关本体烧毁较严重,开关柜与35kV II段母线压变柜之间的隔板上2个洞,线路压变未见异常。07时45分,开虹3403线虹桥变与开化变两侧均改至检修状态。

2.4 设备检查、分析情况:

(1)2002年04月22日开关烧毁分析

检查开虹3403开关后发现开关烧毁严重,三相开关支持绝缘子、绝缘拉杆均被烧黑,柜体和开关上有多处放电拉弧痕迹,机构二次小线烧焦,三相真空泡外部瓷件熏烤严重。现场检查接地回路情况良好,开关绝缘情况:A相整体500MΩ,断口2000MΩ;B相整体15000MΩ,断口500MΩ;C相整体100MΩ,断口300MΩ;判定开关已无法运行。

开虹线虹桥变侧线路避雷器21日动作情况记录:A相4次,B相2次,C相3次;22日动作情况记录:A相5次,B相2次,C相3次。对避雷器进行了试验,试验结果合格。

根据现场雷击记录及开关动作情况分析,开虹3403线路进线段出口处附近遭受近区雷击(开化变侧开虹3403过流II段动作),雷电波进入变电所,由于雷雨天,空气湿度较高,在雷击过电压的作用下,开虹3403开关本体A相沿面放电后电离子扩散引起拉弧,造成35kV母分开关过流I,II段保护动作跳闸,35kV母分开关跳闸后,开虹3403开关本体电弧熄灭,35kV母分开关重合成功。

(2)2003年06月24日开关烧毁分析:

开关及柜体检查情况与2002年04月22日情况基本相同。

保护动作情况:

开虹3403保护:4:24:53:8保护启动,4:24:53:517合闸后加速动作,ABC故障,故障电流13.17A。

35kV母分开关保护:4:24:53:248保护启动,4:24:54:954过流I,II段动作,ABC故障,故障电流19.74A,4:24:56:29重合闸动作,4:24:56:618

过流加速段动作。

开化变电所:24日04:24:54:520开虹3403过流II段动作(重合闸退出)。

开虹线避雷器动作情况:06月21日巡视检查时记录:A相8次,B相2次,C相7次;06月24日事后检查时记录:A相9次,B相2次,C相7次。

母线避雷器动作情况:06月21日巡视检查时记录:35kV母线I段母线避雷器:A相4次,B相3次,C相0次;35kV母线II段母线避雷器:A相5次,B相3次,C相0次。6月24日事后检查时记录:35kV母线I段母线避雷器:A相4次,B相3次,C相1次;35kV母线II段母线避雷器:A相5次,B相3次,C相1次。

从保护和避雷器的动作情况分析,事故发生的原因是开虹3403线A相遭受雷击后入侵变电所,开关线路侧A,B相先发生相间短路(06月24日4:24:53:8),过了240ms,母线侧三相短路(06月24日4:24:53:248)。

针对2002年04月22日发生的开关烧毁事故,衢州局对GBC柜内的加热器增加了容量,并分散安装,以起到更好的防潮、防凝露作用;在35kV配电室内增装了一定容量的除湿机。但在2003年,又发生同样的事故,说明仅仅改善开关的运行环境不是解决问题的关键。

实际上,发生事故的开关在发生雷电过电压事故时,均处于带电开口状态。为什么在这种情况下开关很容易遭受雷电过电压而损坏,下面做进一步的分析。

3 事故原因的讨论分析

雷电过电压会沿线路入侵变电所,形成雷电入侵波。由于波在传播过程中必须满足单位长度线路上存储的电场能量 $\frac{1}{2}C_0u_q^2$ 和磁场能量 $\frac{1}{2}L_0i_q^2$ 相等这一基本规律,即:

$$\frac{1}{2}C_0u_q^2 = \frac{1}{2}L_0i_q^2 \quad (1)$$

如果线路参数 L_0, C_0 和波阻抗 Z 在某一点上发生突变,为了满足式(1)必然会引起线路上的电压波和电流波发生相应改变,这样就会在该节点上产生行波的折射与反射。如,行波从波阻抗较大的架空线路传入波阻抗较小的电缆线路;或相反地从电缆传入架空线路;或带电开口运行开关的断口处等情况下均会发生行波的折射与反射。

通过波的折射与反射分析表明:当电压波到达开路末端时,将发生全反射。全反射的结果使线路末端电压上升到入射波电压的2倍。同时,电流波则发生了负的全反射,电流波负反射的结果使线路末端的电流变为零。此时,入射波的磁场能量将全部转变为电场能量。

因此,当雷电过电压从线路传入变电所时,如果该雷电波传至带电开口运行开关时,即相当于过电压波传到末端开路时的情况。由于过电压波传至开路末端时会发生全反射,将使开路末端的电压上升为入射波电压的2倍,即相当于雷电过电压入射波的2倍,这样就会对开关绝缘造成严重威胁,很容易造成开关设备的损坏^[1-3]。因此,在考虑变电所过电压保护时尤其要对此引起高度重视。

针对35 kV开虹3403线的开关烧毁事件,对事故开关进行了详细分析,事故原因如下:

35 kV开虹3403线A相进线段出口处遭近区雷击,雷电波沿A相线路侵入变电所,A相线路避雷器正常动作,在35 kV开虹3403线开关A相动触头处的雷电过电压幅值 U 为避雷器的残压 $U_{c.s.}$,再加上雷电波在避雷器接头与开虹3403线开关动触头电气回路的反射值 U_f (开路末端电压波会产生全反射^[4],即有:

$$U=U_{c.s.}+U_f=134+2\alpha L/\nu \quad (2)$$

式中: α 为雷电波陡度,kV/s; L 为避雷器接头与开虹3403线开关动触头间电气回路距离,单位m; ν 为雷电波行进速度,m/s。

考虑导线电晕的衰减和变形,进入变电所雷电波的波前陡度为:

$$\alpha = \frac{U_{c.s.}}{l_b(0.5 + \frac{0.008U_{c.s.}}{h_d})} \quad (3)$$

式中: l_b 为进线段长度; h_d 为导线高度。开虹3403线的进线段长度为1 km,导线高度约为10 m,由此可以计算得到:

$$\alpha = \frac{134}{1 \times (0.5 + \frac{0.008 \times 134}{10})} = 220.7 \text{ kV}/\mu\text{s} \quad (4)$$

又: $l=15 \text{ m}, \nu=300 \text{ m}/\mu\text{s}$,由式(1)可以得到:

$$U=134+2 \times 220.7 \times 15/300=156.07 \text{ kV}$$

考虑开关A,B两相之间还存在工频额定电压,其电压幅值为:

$$U_{gl} = 35 \times \sqrt{2} = 49.5 \text{ kV}$$

如果考虑雷击A相时,则A,B相之间的工频电压刚好与之反向,且数值为最大幅值的2/3(这是完全可能的)。叠加后开关A,B两相之间的总电位差为:

$$U_{ab} = 156.07 + 33 = 189.07 \text{ kV}$$

(上接第467页)

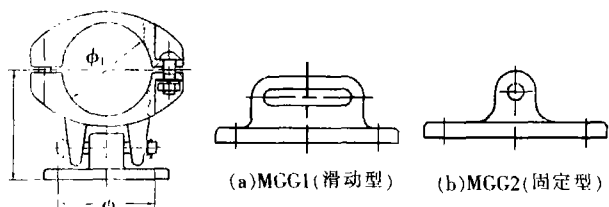


图9 新建或改造管母金具

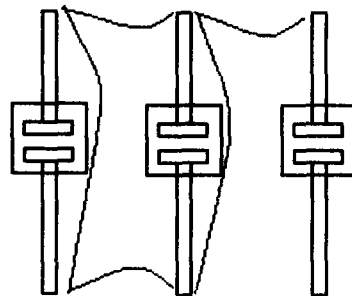


图2 引起工频电弧的示意图

该值超过了开关相间的雷电冲击耐受水平185 kV,因此,雷电过电压引起开虹3403线开关线路侧A,B相间击穿短路,并最终导致母线侧三相短路,开关A,B相两极短路。

4 加强防范雷电侵入波的相应改进措施

由上述35 kV带电开口运行开关防雷击过电压事故分析可知,过电压在开路末端发生过电压全反射,是造成过电压水平增加的主要原因。因此,必须从提高开关本身耐受过电压能力和加强绝缘的过电压保护两方面采取相应的措施。

(1) 提高35 kV开关断口的耐雷水平

针对需带电开口运行的开关应选用断口雷电冲击耐受水平较高的开关;对地和相间200 kV,断口215 kV(雷电峰值)。断口绝缘裕度由1.03提高到1.20。

改善断口雷电冲击耐受水平:真空泡加绝缘材料,改善断口外绝缘电场分布,达到改善断口雷电冲击耐受水平的目的。

(2) 将线路避雷器安装在开关的动触头处

这时 $L=0$,断口绝缘裕度由1.03提高到1.07。

参考文献:

- [1] 黎利佳,周延龄.五强溪水电厂GIS雷电侵入波过电压计算研究[J].湖南电力,1996(5):7-13.
- [2] Ali F Imece, Daniel W Durbak, Hamid Elahi, et al. Modeling Guidelines for Fast front Transients[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1996, 11(1): 493-506.
- [3] Application of Surge Protective Devices Subcommittee. Modeling of Metal Oxide Surge Arresters[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1992, 37(1): 302-309.
- [4] 赵智大.高电压技术[M].北京:中国电力出版社,1999.

5 结语

(1)金具选用问题及安装问题是支柱绝缘子断裂的重要原因。

(2)建议新建或改造的项目使用MGG1(滑动型)和MGG2(固定型)管母金具。