

成套开关柜的电弧短路保护

陈西庚

(新疆电力设计院,新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要: 在6~10kV成套配电装置中,由于电弧短路引起开关柜的故障率目前很高。不少电弧短路使整段配电装置着火(有时伴随爆炸),设备损坏,造成用户长期停电,损失非常大。本文简要介绍国外(前苏联)成套开关柜电弧短路保护装置的研制和运行情况,供有关部门参考。

关键词: 成套开关柜; 电弧短路; 保护装置

中图分类号: TM713 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2000)06-0033-05

1 引言

在电力系统、工业企业等变电所的6~10kV配电装置中广泛采用成套开关柜。由于这种开关柜特别是手车式开关柜的尺寸都较小,绝缘裕度不大,加上绝缘污秽、开关柜结露,断路器推进推出造成绝缘损坏,产品缺陷以及小动物和鸟类进入开关柜等,电弧短路引起开关柜的故障率很高,一般造成整段配电装置完全损坏和用户长期停电。据国外(前苏联)的统计资料表明,每年每1000台开关柜就有7台开关柜遭到损坏,达0.7%。在农村配电网中,这个故障率更高,达12%。我国成套开关柜的故障率可能更高。新疆乌鲁木齐地区最近两年新投运的两个110kV市区变电所,都相继发生开关柜所谓“火烧连营”烧毁整段开关柜的事故。

我国设备制造部门面对上述惨痛事故教训,一直在改进产品质量,提高开关柜绝缘水平(如采用新材料)方面下功夫。但这只能减少事故、不能杜绝事故。殊不知可以通过继电保护方式,避免或减少电弧短路造成开关柜的损坏。在这一方面,前苏联远远走在我们的前头。早在70年代末,他们就开始研制成套开关柜的电弧短路保护装置。到90年代初期,这方面的技术已趋成熟。70年代末和80年代末,国家有关指令性文件或规程都规定成套开关柜要装设电弧短路保护。据最近资料表明,截止1993年底,莫斯科电力系统的110~220/6~10kV变电所中的12000台开关柜,已有85%装设了这种保护。为了了解前苏联电弧短路保护装置的研制动向,本文简要介绍各种保护装置的动作原理和优缺点,供有关人员参考。

2 成套开关柜电弧短路的特点

除了出线电缆头故障外,对于成套开关柜、电弧

短路的主要原因是由于绝缘水平不够造成的。由于偶然原因绝缘水平降低,开始对地产生泄漏电流,逐渐形成电流电弧。电弧连续燃烧,使开关柜内产生大量高温金属气体,发展成为两相短路,并最终过渡到三相短路,即所谓绝缘事故引起电弧短路。手车式开关柜的电弧短路由于上述原因外,还可能由于隔离插头电接触不良,长期载流过热,插头烧熔并脱落、产生负荷电流电弧,电弧连续燃烧,产生大量高温金属气体,最后也能发展成为两相、三相短路,即所谓载流事故引起弧光短路。

对于装有少油断路器的成套开关柜,在电弧短路时,由于电流大量热量可以使断路器喷出(逸出)油气,和电弧接触结果,还会引起开关柜爆炸事故。

根据国外实测资料,在6~10kV成套配电装置中,单相电弧接地过渡到两相短路的时间为0.5~0.6s。从两相短路过渡到三相短路的时间和两相电弧短路的电流大小以及开关柜构造(尺寸)有关。当短路电流2~10kA时,时间约0.10~0.02s。为了降低电弧短路时开关柜损坏的程度,应尽量缩短电弧短路保护装置的动作时间。

成套开关柜中的电弧另一个特点是移动速度非常快,能从短路点沿母线背离电源侧方向“跑出”,这是由于母线短路电流产生的电磁场和电弧的电磁场相互作用的结果。短路电流愈大,“跑出”的速度愈快。由于向外“跑出”,可以从开关柜内这个小室窜到另一个小室;还可以通过没有隔离的母线小室窜到旁边的开关柜,从而产生所谓“火烧连营”,烧毁整段开关柜。

电弧短路除了产生前面的电磁效应外,还产生光和热的效应,国外就是利用电弧这些效应,研制出各种各样的电弧短路保护装置。

3 各种电弧短路保护装置的动作原理

3.1 利用电弧产生的热量动作

前面指出,电弧连续燃烧,产生大量高温气体,形成压力很高的冲击气流,使保护装置动作。

a. 阀式电弧保护继电器

阀式保护继电器或称压力传感器。利用电弧产生充足气体压力动作,是前苏联一直研制和使用的电弧保护装置。如图 1 所示,它主要由框架 1 和叶片 2 组成。相当于门框和门扇,可以双方向转动。它利用两个耳柄 3 固定在开关柜分隔的小室(如母线小室、断路器小室、电缆头小室等)的柜壁上(柜壁应予先开孔)。发生电弧短路时,在高压气流冲击下,叶片 2 打开(转动),并动作于终端开关,发出断路器跳闸脉冲。

这种小尺寸继电器(约 1.5kg 重)名叫“克拉伯”(是俄文“短路”动作“两字头的缩写)。早已批量生产,最广泛用在电力系统中。

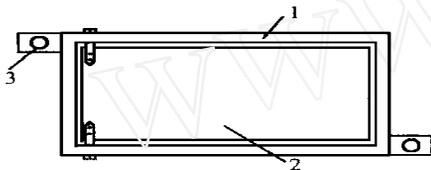


图 1 阀式电弧保护继电器简图

这种继电器的主要优点是简单,动作快(与短路电流大小有关,约小于 0.1s);动作后有记忆作用,可用肉眼,看出它是否动作;由于有最低的电流动作门槛,只能用在电弧短路电流超过 3kA 的开关柜中。

b. 金属丝电弧继电器

金属丝电弧继电器或叫张力传感器,它是在电弧气体压力作用下伸长金属丝,根据电阻变大的信号动作。由于这种电阻信号变化不大,需要采用桥式接线、直流放大器等。因此这种继电器实质上是一种半导体开关,图 2 表示出这种半导体开关的出口继电器的接点 K1。发生电弧短路时,在气体压力作用下,半导体开关动作,K1 接点闭合,接通中间继电器 KL 线圈,KL 接点闭合动作于跳闸。保护动作时间取决于中间继电器 KL 的动作时间,约 0.1s。由于这种继电器的体积小,可以装在电磁式电流继电器 KA 的壳体中。

这种保护装置的主要优点是依靠气体压力动作,抗干扰能力强,选择性好,动作迅速。缺点是接线较复杂。

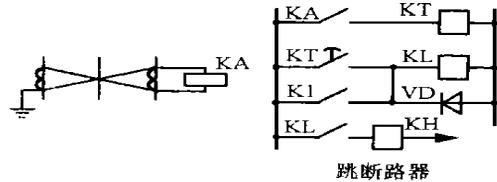


图 2 金属丝电弧继电器的出口回路

- K1 ——金属丝电弧继电器;
- KA ——过电流继电器;
- KT ——时间继电器;
- KL ——中间继电器;
- UD ——二极管

3.2 利用电弧产生的电磁能量动作

a. 电弧接收天线

前面已经指出,母线短路电流产生的电磁场和电弧的电磁场相互作用使电弧迅速移动,此时可沿母线装设一根天线 3(所谓第四根母线),见图 3。这根天线和母线 2 绝缘(间隙由试验决定),并在适当地点设置一只电流互感器 9(一次线圈一端接天线,另一端接母线)对短路电流电弧进行接收(吸收)。例如 K1 点短路时,B、C 间的电弧压降产生电流互感器一次电流和二次脉冲跳闸电流,使电源断路器跳闸。

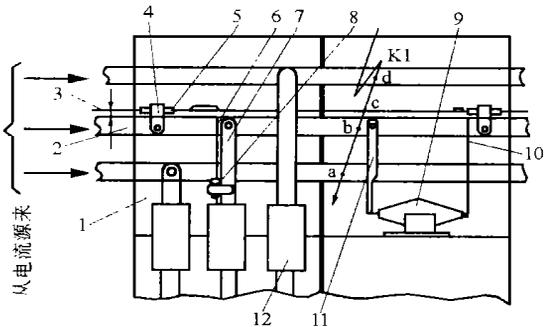


图 3 电弧接收天线

- 1 ——开关柜间隔; 2 ——铝母线(主母线)
- 3 ——电弧接收天线; 4 ——固定支架;
- 5 ——绝缘套管; 6 ——分支线;
- 7 ——引下线; 8 ——固定支架;
- 9 ——电流互感器; 10 ——分支线;
- 11 ——铝母线

这种保护装置动作迅速,实际上没有最低的电流动作门槛。但不能区别短路发生的地方。它也是目前应用较多的电弧短路保护装置。特别是用于成套开关柜连通的母线段保护。

b. 单相电流电弧保护

在相间短路电弧电流较小的情况下,可以采用由一只同名相(例如 C 相)的电流互感器构成不完

全母线差动保护方式,实现电弧电流保护(或叫单相电流电弧保护),如图4所示。当K1、K2点短路时,电流继电器组KAB(KAB继电器可由电流继电器和中间继电器或时间继电器组合成)动作,将无选择性瞬时(不大于0.1s)断开进线断路器 Q_B 。当配电装置范围外(例如线路K1)发生故障时,电流电弧保护利用KA1的接点(断开比接点KAB闭合早)退出工作,此时故障由线路保护选择性断开断路器 Q_1 。当线路K1电缆头(K3点)发生短路时将遵守类似的准则。

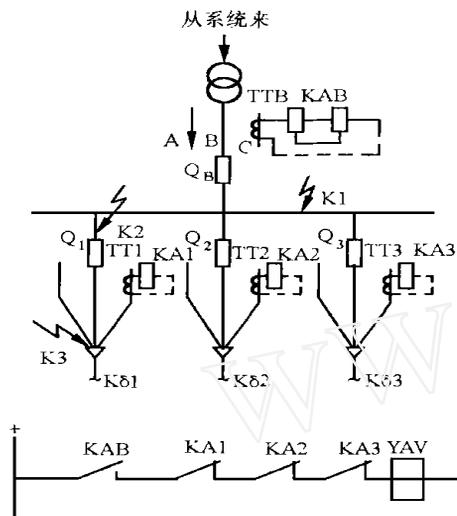


图4 由同名相电流互感器构成的电弧电流保护

这种保护装置实现起来也不复杂。动作时间也短(约0.1s)。但当电缆头(K3点)短路时,由于断路器逸出油气与电弧接触,可能造成开关柜爆炸,需加电弧接收电极、闭锁本身断路器 Q_1 动作,使进线断路器 Q_B 无选择性动作。

c. 电弧接地保护

利用单相电弧接地电流动作的保护装置见图5。它由电源电缆进线和电缆出线的零序电流互感器及接入其二次侧的保护单相接地的电流继电器1(2)KA1~1(2)KA4构成。当成套开关柜中出现单相接地时(例如K1点),继电器1KA1和1KV1(接到母线电压互感器1TV1的开口三角形绕组上,用来消除接点1KA1偶然闭合使保护动作)的接点闭合后,继电器1KL1、1KL3和时间继电器1KT动作。1KT动作后其限时接点闭合使断路器 Q_1 和 Q_3 跳闸。当K2点发生单相接地时,继电器1KA1、1KA2、1KV1动作,以后继电器1KL1、1KL2、1KL3相应动作。继电器1KL2动作后,它的接点断开继电器1KT回路,断路器 Q_1 不会跳闸。为了避免电缆出线单相

接地时保护误动作,其保护带0.1~0.2s延时。当K3点发生单相接地和断路器 Q_3 接通时,继电器2KA2动作,它的接点闭合继电器2KL2的回路,继电器2KL2的接点断开继电器1KT回路,断路器 Q_1 不会跳闸。

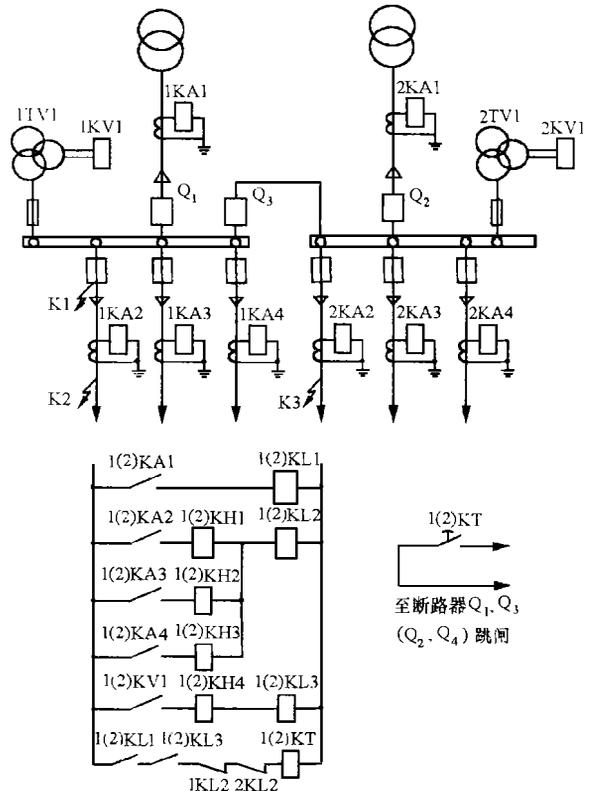


图5 由零序电流互感器构成的

- KA1 ~ KA4 —— 电流继电器;
- KL1 ~ KL3 —— 中间继电器;
- KT —— 时间继电器;
- KH1 ~ KH4 —— 信号继电器;
- KV1 —— 电压继电器

6~10kV成套开关柜电弧短路绝大多数先由单相电弧接地电流发展起来的,从单相接地短路发展成为两相、三相短路。由于电弧接地保护装置的动作电流按单相接地短路电流整定,动作值小,灵敏度高。同时由于保护装置利用零序电流互感器产生的零序电流,不像普通接在相电流的过电流保护一样,保护装置的时限毋须增加0.3~0.5s,以躲过断路器合闸时变压器空载的励磁涌流和电动机的起动电流。但为了避免电缆出线单相接地时保护误动作,保护有0.1~0.2s延时,比前面各种保护的动作时间略长些。这种保护装置实现起来也很简单。

3.3 利用电弧产生的弧光动作

所谓“电弧”就要产生弧光,因此可以利用光敏

电阻 R4(见图 6)的电阻变化(减少)产生的电流动作跳闸的出口继电器。这种继电器可称为光敏电弧保护继电器。在弧光照射光敏电阻 R4 时,流过继电器 K1 的电流增大,继电器 K1 动作后,接点 K1 接通出口继电器 K2。继电器 K2 的接点 K2,3 闭合发出跳闸脉冲,断开有关的断路器。在光敏电阻 R4 回路中串上过电流保护的电流继电器接点 MT3,只有过电流保护 MT3 和光敏电阻都动作时才断开对应的断路器,以增加光敏电阻动作的可靠性。

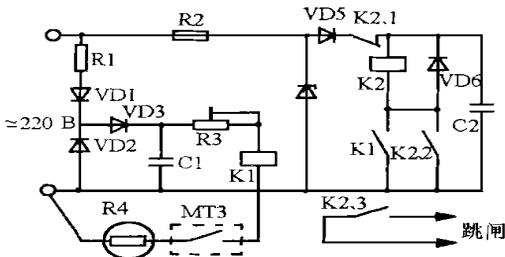


图 6 由光敏电阻构成的电弧接地保护

这种继电器的优点是动作灵敏度高,动作时间短,选择性好。但接线复杂,抗干扰(光、温度)能力较差(必须串上过电流保护继电器的接点)。继电器的固有动作时间不超过 0.04s。

4 各种电弧短路保护装置的使用情况

根据 1994 年初有关资料介绍,1990~1992 年期间,在俄罗斯特维尔电力系统 14 个供电部门的变电所中,组合安装了“克拉伯”继电器(图 1)和电弧接收天线装置(图 3)。共装设 220 个“克拉伯”继电器和 29 套电弧接收天线。其中 6 套电弧接收天线用来保护 6~10kV 屋内配电装置。6 个月内发生了 11 次电弧短路(电流 5.8~12kA),此时没有观察到电弧短路保护拒动过。电弧短路由配电装置段的进线断路器实际上瞬时断开消除。所有开关柜和断路器(这里闭锁备用电源自动投入装置)没有电弧故障,检查后立即投入工作。

据 1992 年底有关资料介绍,由同名相电流互感器构成的电弧电流保护(图 4)也已经成功用在莫斯科电力系统许多变电所中。

据 1992 年中有关资料介绍,由零序电流互感器构成的电弧接地保护(图 5)也成功用在利西昌斯克石油化工厂的 6kV 配电装置中。

据 1990 年中有关资料报导,光敏电弧接地保护继电器(图 6)曾在 3 个变电所中进行人工短路试验,继电器的固有动作时间不超过 0.04s。还记录到

一次开关柜中绝缘击穿保护正确动作的情况。此时,开关柜金属部份的电弧痕迹不太明显,证明这种保护动作是很有效的。

总结上述运行经验,可以作出初步结论:“克拉伯”小形继电器和电弧接收天线装置有效用在短路电流超过 3kA 的 6~10kV 成套配电装置开关柜中。短路电流 3kA 以下可以采用单相电弧电流保护,电弧接地保护及光敏电弧接地保护继电器。

5 各种电弧短路保护装置的费用及经济分析

按照 1991 年价格,每台“克拉伯”传感器的造价为 120~150 卢布。在每台成套开关柜中(任何系列)的安装费为 0.9~1.0 千卢布。成套配电装置安装电弧接收母线(加电流互感器),每段(和长度有关)由 15~18 台开关柜组成的一段母线长度为 6~7 千卢布。由 2~3 人组成的安装小队安装这种保护需 5~7h。

单相电流电弧保护装置的制造,安装和调试平均每台开关柜为 3~3.5 千卢布(1992 年价)。

一段母线开关柜中装设“克拉伯”传感器的投资和安装费用不超过一台装少油断路器的开关柜的费用。按电力系统 6~10kV 成套配电装置中每年电弧短路平均使 5%~6% 开关柜故障(农村中达 12%)计算,因此装设“克拉伯”传感器的费用可在 1~2 年内回收。在一段内开关柜数量增加时,回收年限更可缩短。

6 结束语

根据国外的运行经验,虽然根据短路时产生电弧的特点,研制出各种各样的电弧短路保护继电器,但它们都应尽量满足以下 5 点基本要求,这和一般继电器的基本要求一样:

- a. 速动性。这一点是最主要的,以便减轻电弧对开关柜的损坏程度。因此电弧短路保护的动作时间愈短愈好。最好不超过 0.1s。
- b. 灵敏性。即电流动作门槛愈低愈好。
- c. 可靠性。即在其他无关的因素影响下不要误动作。
- d. 选择性。即下级保护动作时上级保护不应动作。
- e. 简单性。构造简单,容易制造,容易安装维护,因而造价也低。

上述要求常常互相矛盾,例如灵敏度高,可靠性

就可能降低;为了速动性可能牺牲选择性(例如出线故障跳进线断路器)。

根据前面对电弧短路保护的要求,我们对国外已有的各种继电保护装置简单归纳如下:

阀式保护装置动作可靠迅速,但有最低的电流动作门槛(3kA)。动作时间虽短(可达0.1s以内),但必须出现两相短路后才能动作。动作时间和短路电流有关,电流愈大,动作时间愈短。电流虽大,但动作时间很短,短路时不会损坏开关柜,可以继续使用。

电弧接收天线装置,靠母线段出现两相短路电流动作。没有电流动作门槛。动作时间和短路电流大小无关。动作最迅速(瞬时)。造价低,但只能作为成套配电装置母线段的保护,也不能判别故障点。

单相电流电弧保护利用两相短路电流动作,可靠性高。动作时间短,可达0.1s。电流动作门槛低(1~3kA),但不能太低,否则动作时间要增长0.5s,以躲过变压器励磁电流或电动机起动电流。

电弧接地保护在发生单相接地时就动作。利用

单相接地电流动作,起动电流值低,灵敏度高。但为了避免出线单相接地时动作,动作时间要增长,约0.2s。但由于在小接地电流时就动作(单相,接地过渡到两相短路约0.5s),虽然时间长些,对开关不致造成损坏。

上述保护对出线外部短路时均有选择性。但为了避免开关柜在油气和电弧作用下爆炸,以及缩短保护动作时间,出线开关柜内电弧短路时均动作变压器进线断路器跳闸,选择性都差。如果采用真空断路器,为了缩短母线短路时动作时间,也可能要这样做。

从上可见阀式保护动作电流大(3kA)以上,因此短路电流小于3kA时应用其他保护。

最简单的是电弧接收天线,次之是阀式保护,最复杂是金属丝电弧继电器,光敏电弧保护继电器。

收稿日期: 1999-10-05

作者简介: 陈西庚(1935-),男,教授级高工,主要从事电气设计。

Protection against arc short circuit for switchgear cabinet set

CHEN Xi-geng

(Xinjiang Power Design Institute, Wulumuqi 830002, China)

Abstract: For 6~10kV complete set of power distribution equipment, many faults of switchgear cabinet are mainly caused by arc short circuit. Many arc short circuited faults result the whole section of power distribution equipment on fire (sometimes explosion). The equipment is damaged which brings a long term outage to customers. Therefore, the development and operation performances of the protection against arc short circuited fault for switchgear cabinet abroad (Russia) are presented in this paper.

Keywords: switchgear cabinet set; arc short circuit; protection

(上接第30页)

Application of micro-processor based relaying protection in large pumping station

ZHANG Shun-lin¹, DING Qiang²

(1. Jiangdu Water Conservancy Project Administration, Jiangdu 225200, China;

2. Nanjing Water Conservancy & Hydrologic Automation Institute, Nanjing 210098, China)

Abstract: Application of micro-processor based relaying protection and its problem are presented in this paper. It tells us how to improve its application quality and how to put the application in practice as soon as possible. The performances of the microprocessor based protection and traditional protection are compared as well.

Keywords: micro-processor based relaying protection; large pumping station; automation