

一起低压电气设备事故分析

郑丙文

(大唐湘潭发电有限责任公司, 湖南 湘潭 411102)

摘要: 通过一起低压配电设备事故的分析表明, 低压开关柜的插接头, 在大电流下易发生接触面氧化和过热变形并引发事故。而变压器继电保护为满足高压侧短路时与熔断器-接触器(F-C)开关的时限配合关系, 难以兼顾低压侧短路时的快速性, 使得间断性的故障不能切除。又由于 F-C 开关熔断器配置不合理, 导致低压设备故障时完全失去保护, 造成事故的扩大。在继电保护配置、熔断器选择以及检修维护方面提出了一些防范措施。

关键词: 低压开关; 短路; 事故扩大; 继电保护; F-C 熔断器; 措施

中图分类号: TM 774

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2007)01-0119-03

某电厂曾发生一起低压厂用配电设备电气故障起火事故, 短路故障断续维持时间长达 10 min, 导致该段 380 V 厂用动力中心配电屏损毁严重, 40 % 以上的屏柜被烧毁, 80 % 的柜内控制电缆烧毁, 整段配电屏被熏黑, 绝缘材料炭化, 直接经济损失数十万元。恢复期间由于机组失去了重要低压工作电源, 只能降负荷运行, 间接经济损失巨大, 并对机组安全运行构成严重威胁。针对这一故障反映的诸多问题, 本文进行了较为深入的分析。

1 设备状况及故障过程

故障母线为某电厂 380 V 动力中心电源母线, 75 kW 以上负载配置框架式断路器; 75 kW 及以下的负载开关为抽屉式开关柜, 柜内配置自动空气开关作为短路保护, 由交流接触器进行正常启停操作。电源变压器 $Y_{n}/\Delta-11$ 结线, 电压比为 6.3 kV/0.4 kV, 低压侧为中性点直接接地系统。变压器高压开关为熔断器-接触器型(F-C)开关, 熔芯额定电流为 160 A, 真空接触器极限开断电流为 4 000 A。配置的继电保护有高压侧过负荷保护和反时限过流保护、变压器中性点反时限零序过流保护^[1]。

事故发生在启动该段一台 75 kW 的灰水加压泵之后约 1 min, 值班人员首先发现直流系统接地告警信号, 在检查直流系统时又看到该段故障母线的电压异常信号, 并观察到该母线的进线开关电流摆动很大, 往往突然上升至满刻度, 停留 1~2 s 后恢复至正常值, 随后大电流又重复出现。在判断为设备短路故障后, 值班人员断开电源开关, 并及时组织灭火, 故障得到控制。

现场配电屏外散落有一些烧损变形的导电部件、绝缘材料以及紧固件, 绝缘材料已经炭化, 经仪表检测基本上无法起到绝缘作用。

2 引起本次火灾事故的原因分析

由于起火地点毁坏严重, 已经很难从现场直接分析起火原因。但从烧损的严重程度以及事故前仅仅启动过灰水加压泵这些线索, 基本判断出事故是由灰水加压泵开关柜最先发生的。该厂共有 3 台灰水加压泵, 属于频繁启动的设备, 而且运行工况都相近。从对其余 2 台泵的检查情况看, 开关柜插接头、接触器触点都有不同程度的氧化, 开关柜插接头还有过热变形, 以致插接位置稍微偏移, 导电部分接触面积略有减少。而同一母线上其他开关的情况则要好得多。

综合以上情况, 起火的原因已经基本明确。加压水泵属于频繁启动的设备, 经常性的大启动电流导致在插接头处发热严重, 接触面的氧化速度快, 氧化后又使接触电阻更大, 产生恶性循环, 最终导致该处高温起火。高温使得附近的绝缘材料炭化断裂, 金属紧固件散落, 跌落在负载开关上, 产生短路。由于自动空气开关的灭弧能力不够, 切除故障时发生爆炸, 散落的导电材料和紧固件又导致母线和更多的负载开关短路。

由于绝缘材料基本是不延燃的, 如果电源切断, 应能避免火势的蔓延。下面分析为何继电保护装置没有迅速动作, 以致事故扩大的原因。

3 导致事故扩大的原因分析

3.1 继电保护装置拒动的原因分析

从故障现象看, 低压母线发生多处短路, 部分母线排已经熔化, 而变压器保护没有动作, 变压器高压侧安装的 F-C 开关, 熔芯也没有熔断, 这正是事故扩大的直接原因。短路计算表明, 在该变压器低压侧相间短路时, 高压侧电流在 1 200~1 400 A 范围内; 高压侧短路时短路电流在 14~17 kA 范围内; 低压侧单相接地最大故障电流约为 20 kA^[2]。

过负荷保护由于动作时间达 10 s, 对短路故障是

难以起到保护作用的。

而对于反时限过电流保护,由于要防止在高压侧故障时动作速度过快,由真空接触器切除故障发生爆炸而导致事故扩大,所以应整定装置的最小动作时间不得快于熔断器熔断时间。一般整定此时间为 0.2~0.3 s,该装置按照 $t=0.2$ s 考虑来整定反时限时间常数 τ , 计算式为

$$t = \frac{\tau}{I^2 - I_{qd}^2}$$

式中 $I_{qd}=1$ 为保护启动标么值; I 是故障电流标么值,基准值为 6 A。

由于高压侧短路电流达到 17 kA,在电流互感器变比 150/5 的配置下,计算得到的 $\tau=1700$ s。而在同一个 τ 值下,低压侧发生短路时,由于保护安装处电流小一个数量级,动作时间长达 20 s,显然这一保护对于低压侧故障基本上是没有作用的。

故障期间,低压侧由于连接件脱落,更多的是属于接地短路,但变压器零序保护没有动作。

零序保护动作特性为

$$t = \frac{8}{I - I_{qd}}$$

低压侧接地短路电流高达近 20 kA,中性点电流互感器变比 1000/5,理论动作时间为 0.5 s。但经试验发现,低压侧零序电流互感器由于尺寸限制,铁芯较小,伏安特性拐点电压只有 16 V,而电流回路电阻约为 1 Ω ,因此短路情况下,提供的实际故障二次电流只能达到 16 A 左右^[3],这一电流下,保护动作时间为 4.8 s。

从故障现象看,当时电流表指针在大电流位置一般停留 1~2 s,然后恢复正常,但故障反复发生。虽然装置具备热积累功能,但由于故障间隔时间较长,散热时间也长,积累之后仍然不能使保护出口,这样零序保护实际上也无法起保护作用。低压电气设备电感非常小,电压低,发生短路时故障点电流很大。大电流使得故障点易于熔化、熔断,因此低压设备故障点远比高压设备容易熄弧,故障维持时间比较短,因此,低压设备继电保护动作时间超过 1.5~2.0 s 时,将极有可能不起作用。

由此可见,即使整定计算原则没有错误,回路和装置正常,实际上也不一定能保证继电保护的正确动作,因为保护动作还受到保护装置以外的诸多因素的影响^[4]。这些因素在设计时往往会被忽略。

3.2 高压熔断器熔芯没有熔断的原因分析

F-C 开关熔断器的选择错误,是故障得以扩大的重要原因之一。对于额定电流 91.6 A 的变压器,选择变压器型 112~125 A 熔断器应是合适的,这样在当时的故障电流下,熔断时间在 0.06~0.1 s 之间,完全可以起到保护作用。但实际由于考虑备件的统一型号和采购方便,选用的是 160 A 的电动机型熔断器,在当时的故障电流下,熔断时间需要 2 s,由于前

面所述的原因,也是难以起保护作用的。该熔断器的电流-时间特性如图 1 所示(I_r 为预期电流有效值, t_p 为弧前时间,图中 25、31.5、...、355 等为熔断器标称电流,单位为 A)^[5]。

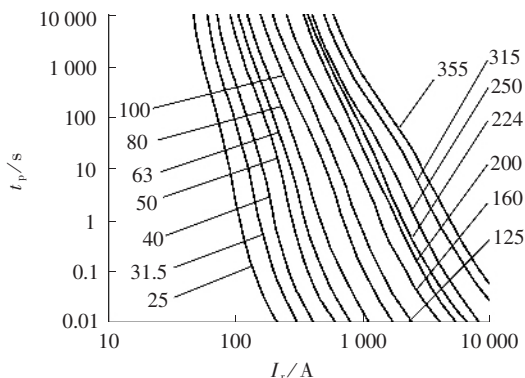


图 1 熔断器电流-时间特性

Fig.1 Current-time characteristics of fuse

由图 1 可知,即使选用同型号 125 A 的熔断器,熔断时间也只有约 0.2 s,对于防止事故扩大具有很好的效果^[6]。同样,电动机型 125 A 和 160 A 2 种熔断器,1 400 A 故障电流时的熔断时间,相差 10 倍,可见对于 F-C 开关,准确选择熔断器极其重要。

4 防止故障发生和扩大的措施

4.1 如何防止低压设备火灾事故的发生

电气设备事故,大多由于绝缘劣化或者大电流载流部分过热而引起,而对于低压设备,又以载流部分过热的情形居多。所以,首先应重视一次插接头的维护,特别是对频繁启动设备开关的检查、维护,包括插接头接触面的打磨,弹片压力、行程到位情况的检查等^[7]。其次,选择开断能力良好的自动空气开关,确保开断能力满足要求,并应有一定裕度^[8]。事实上并非所有自动空气开关都能达到标称的开断能力,因此选择时仍需慎重。

4.2 防止事故扩大应采取的措施

通过计算变压器低压侧故障的短路电流可知,由于变压器具有较大的阻抗,低压侧的短路电流往往在真空接触器的开断电流值内,完全可以通过继电保护装置动作来切除故障。例如本次故障,真空接触器极限开断电流 4 000 A,考虑一定的可靠系数,由真空接触器切除 2 000 A 的故障电流是非常安全的,而计算得故障时 F-C 开关处的电流只有 1 400 A,完全可以由真空接触器断开。事实上,采用 F-C 开关作为电源断路器的变压器,低压侧短路时 F-C 上的电流基本都在 2 000 A 以内。

在此情况下,可以设置简单的延时过电流保护切除故障,这一思路用微机保护可以较好地得以实现。例如,用真空接触器的可靠开断电流值实现对过电流保护的闭锁,即当故障电流大于接触器可靠开断电流时,闭锁保护出口,一般在此电流下,熔断器能很快熔断;而在电流小于接触器开断电流时,直

接由继电保护带短延时或者瞬时断开接触器。

如果选用反时限保护,则需要考虑与接触器开断电流和熔芯熔断特性的配合,也就是以接触器可靠开断电流为分界点,当故障电流大于开断电流时,应确保熔芯熔断快于保护动作,而在故障电流小于接触器开断电流时,允许保护动作快于熔芯熔断。最佳配合关系如图 2 所示(纵轴为熔断时间 t_f ,横轴为故障电流 i_f ,I 区为保护切除故障区,II 区为熔断器切除故障区, i_{kd} 为接触器可靠开断电流)。

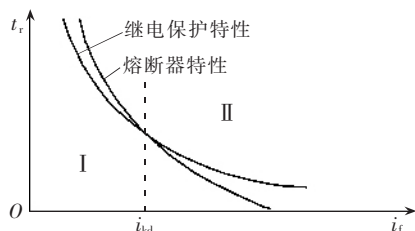


图 2 熔断器与继电保护的配合关系

Fig.2 Cooperative relations between fuse and relay protection

目前有些微机保护装置,如国电南自的 NEP 系列变压器保护、电动机保护和北京四方的 CST 系列保护装置,可以根据现场需要适当修改软件实现这一功能,使得保护装置和 F-C 熔断器的配合更为简化。

对于变压器零序保护,当负载中三相对称负载占绝大多数时,设置简单的定时限零序过电流保护更加简单可靠;当负载中有一定的单相负载时,宜采用反时限零序电流保护。对于本次故障而言,绝大部分负载是三相异步电机,如果采用定时限零序过电流保护,由于对电流互感器的要求比较低,所以效果要好很多。对于采用反时限零序过电流保护更适合的场所,则电流互感器伏安特性必须满足要求,否则难以兼顾选择性和快速性。但目前用于变压器中性点的零序电流互感器,由于安装位置紧凑,铁芯尺寸较小,普遍都存在伏安特性低的问题^[9],对于现有的设备,也可以用 2 个同型号电流互感器串联的方法解决。

5 结语

要防止低压电气设备事故发生,从设计、设备选

型、安装等方面就应该认真考虑。对于运行时间较长的设备,则有针对性的检修维护更为重要,花费不多,工作量也不大,但可以起到比较好的预防作用^[10]。

参考文献:

- [1] 贺家李,宋从矩,梁统珍. 电力系统继电保护原理[M]. 北京:中国电力出版社,1991.
- [2] 崔家佩,孟庆炎,陈永芳,等. 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M]. 北京:水利电力出版社,1993.
- [3] 陈建玉,孟宪民,张振旗,等. 电流互感器饱和对继电保护影响的分析及对策[J]. 电力系统自动化,2000,24(6):54-56.
CHEN Jian-yu, MENG Xian-min, ZHANG Zhen-qi, et al. Influence of the current transformer saturation on relay unit and its countermeasures in medium voltage power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(6): 54-56.
- [4] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护规定汇编[M]. 2版. 北京:中国电力出版社,2000.
- [5] 西安熔断器制造公司. 变压器保护用高压限流熔断器[EB/OL]. [2005-11-01]. http://www.xirong.com/produts/Infopro/lm2_4.html.
- [6] 孟立明. 高压限流熔断器组合保护在厂用变分支的应用[J]. 云南水力发电,2003,19(z1):88-90.
MENG Li-ming. Application of HV current-limiting fuse combination protection in station-service substation system[J]. Yunnan Water Power, 2003, 19(z1): 88-90.
- [7] 李国兵,李培新. 变电设备发热缺陷的管理[J]. 电力安全技术,2005(12):33-35.
LI Guo-bing, LI Pei-xin. The management for power equipment overheat[J]. Electric Safety Technology, 2005(12): 33-35.
- [8] 能源部西北电力设计院. 电力工程电气设计手册[M]. 北京:中国电力出版社,1996.
- [9] 梁仕斌,王作松,赵立昌. 如何进行电流互感器伏安特性试验[J]. 云南电力技术,2005,33(2):49-52.
LIANG Shi-bin, WANG Zuo-song, ZHAO Li-chang. How to carry out CTs volt-ampere characteristic test[J]. Yunnan Electric Power, 2005, 33(2): 49-52.
- [10] 付明强. 输变电设备接头发热的原因及预防[J]. 电力安全技术,2006(7):49.
FU Ming-qiang. The reason and prevention of power transformer equipment connection gives off heat[J]. Electric Safety Technology, 2006(7): 49.

(责任编辑:康鲁豫)

作者简介:

郑丙文(1972-),男,湖南长沙人,工程师,从事发电厂电气技术和生产管理工作(E-mail:zhenbwen@tom.com)。

Analysis of a low-voltage electrical accident

ZHENG Bing-wen

(Datang Xiangtan Power Generation Co., Ltd., Xiangtan 411102, China)

Abstract: The deep analysis of a LV (Low Voltage) distribution equipment accident indicates that, the surface oxidation and overheat deformation of LV switch board connectors may happen under big current, which causes accident. To satisfy the time coordination relation with F-C (Fuse - Contactor) switch during high voltage side short-circuits, transformer protection may not be able at the same time to satisfy the rapidity during low voltage side short-circuits, which causes the temporal fault remained. Furthermore, the use of improper F-C switch fuse may lead to total protection loss, which causes accident spreading. Some countermeasures are proposed in protection configuration, fuse selection and maintenance.

Key words: low-voltage switch; short-circuit; fault spread; relay protection; F-C fuse; countermeasure