

高压负荷开关与熔断器组合电器在终端变配电所设计中的实现及优势

陈道江

(湖北工业大学机电研究设计院, 湖北 武汉 430070)

Realization and Advantage of High-voltage Load Switch and Current-limiting Fuse Combination in Design of Terminal Power Supply & Distribution Substation

CHEN Dao-jiang

(Mechanical & Electrical Research & Design Institute of Hubei University of Technology, Wuhan 430070, China)

摘要: 介绍了高压负荷开关与限流熔断器组合电器在终端变配电所设计中的实现方法及参数计算, 配合特点, 选用注意事项。分析了容量在 1 250 kV·A 及以下变压器的保护中, 采用高压负荷开关-限流熔断器组合电器方案较之采用传统真空断路器方案的优势。

关键词: 高压负荷开关; 限流熔断器组合电器; 变压器; 供配电系统; 真空断路器

中图分类号: TM421; TM564.2; TM563.1 文献标识码: B

Abstract: The high voltage load switch and current-limiting fuse combination in design of terminal power supply & distribution substation is introduced, which includes several respects such as realizable method, parameters calculation, cooperating characteristics, and attention in selecting. It analyzes the advantage of the scheme of high-voltage load switch current-limiting fuse combination, compared with traditional vacuum circuit breaker, in the protection of transformer up to 1 250 kV·A.

Key words: high-voltage load switch; current-limiting fuse; combination; transformer; power supply & distribution system; vacuum circuit-breaker

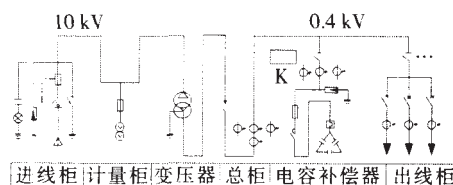
1 引言

传统的配电系统中, 大量使用真空断路器。真空断路器是按很少发生的短路电流设计的, 结构与保护线路复杂, 价格昂贵, 体积较大。在装机容量大且需频繁操作控制的配电系统, 由于真空断路器是将控制与保护集于一身, 仍有它的不可替代性。随着高压负荷开关-限流熔断器组合电器的出现, 使得在操作不频繁、容量在 1 250 kV·A 及以下的场所, 正逐步替代真空断路器, 其中负荷开关用来开合负

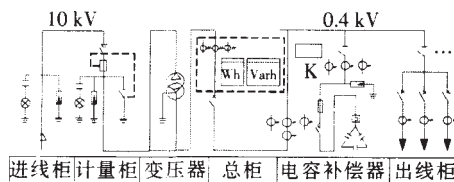
荷电流, 以限流熔断器作短路保护, 将控制与保护两种功能分开。在不降低控制保护装置灵敏度的情况下, 终端变配电系统采用组合电器, 控制保护线路简单, 经济适用; 并可与配电变压器保护特性很好匹配, 尤其适用于环网供电单元。

2 终端变配电系统一次方案图

由高压负荷开关-限流熔断器组成的终端变配电系统, 一般有高供高计及高供低计两种形式, 见图 1(a), (b)。没有设总降压变电所的用户, 采用高供高计式; 设有总降压变电所的用户, 采用高供低计式。不论采用那种形式, 其高压负荷开关与限流熔断器的参数计算与选型方法都是类似的。



(a)高供高计



(b)高供低计

图 1 终端变配电所一次典型方案图

3 组合电器中元件的参数计算与配合

在终端变配电系统的设计中, 主要涉及到变压器的保护。在工程设计中有几个重要的名词需要理清, 才能做到选型正确, 系统运行安全稳定, 事故时

收稿日期: 2005- 12- 24

作者简介: 陈道江(1964-), 男, 湖南双峰人, 高级工程师, 研究方向为电气及自动控制。

保护装置可靠动作。

3.1 变压器额定一次电流、励磁电流、短时过负荷电流

变压器在额定负荷运行时的一次电流称为额定一次电流 $I_{in.T}$;

$$I_{in.T} = \frac{S_n \times 10^3}{\sqrt{3} U_j \times 10^3}$$

式中: $I_{in.T}$ 为变压器额定一次电流; S_n 为变压器额定容量; U_j 为一次侧基准电压。对电源进线为 10 kV 的终端变配电系统, 取 $U_j=10.5 \text{ kV}^{[1]}$ 。

变压器空载投入或突然恢复供电时, 产生的冲击性励磁涌流(励磁电流 I_s), 一般可达变压器额定一次电流的 8~10 倍^[2], 持续时间 0.1 s^[3]。由于变压器励磁涌流的大小与变压器投入时铁心的剩磁和电压相角有关, 不同的变压器, 其铁心的磁滞特性具有离散性, 为减少停电事故, 在终端用户变配电系统设计中宜按 10 倍考虑。取 $I_s=I_{in.T} \times 10$, 其中: I_s 为变压器励磁电流; $I_{in.T}$ 为变压器额定一次电流。

变压器短时过负荷电流 I_{α} 是指变压器低压侧接在-5%分接头处抽头, 允许短时过载 15% 的电流。即 $I_{\alpha}=I_{in.T} \times 1.05 \times 1.15$ 。

$I_{in.T}$, I_s , I_{α} 为正确选择高压负荷开关与限流熔断器的基本依据。

3.2 限流熔断器熔体额定电流、最大开断电流

限流熔断器熔体额定电流 $I_{n.FE}$, 一般取变压器额定一次电流的 1.5~2.0 倍^[2], 即 $I_{n.FE}=(1.5 \sim 2.0) I_{in.T}$, 主要是考虑限流熔断器熔体能避开变压器自身的励磁涌流及变压器低压侧电动机启动引起的尖峰电流。

由于限流熔断器能避开短路冲击电流, 能在短路电流达到冲击值之前灭弧, 因此, 限流熔断器的最大开断电流 $I_{CC.max}$ 应大于或等于其安装处变压器一次侧三相暂态短路电流的有效值 $I^{[2]}$, 即 $I_{CC.max}$

$$I, I = \frac{S_n \times 100}{\sqrt{3} U_k \% \times U_j} \text{ 其中, } U_k \% \text{ 为变压器阻抗电压 (短路阻抗) 百分值。}$$

$I_{n.FE}$, I , $I_{CC.max}$ 是选择限流熔断器的重要依据。

3.3 组合电器的转移电流、交接电流

高压负荷开关-限流熔断器组合电器的转移电流是指限流熔断器与高压负荷开关转换开断功能时变压器高压侧三相对称电流值。转移点发生在限流熔断器触发高压负荷开关分闸, 时间等于限流熔断器最小(-10%)“安-秒”特性曲线上限流熔断器首开相熔化时间的 1.1 倍时^[4]。转移电流的大小是由限流熔断器最小“安-秒”特性曲线上, 熔化时间等于 0.9 倍高压负荷开关分闸时间所对应的电流值^[4]。转移电流小于该值时, 首开相电流由限流熔断器切断, 其他两相电流由高压负荷开关切断; 大于该值时, 三

相短路电流则仅由限流熔断器开断。

一般高压负荷开关, 生产厂家可按设计要求配置分励脱扣器(建议工程设计时选用带分励脱扣器的高压负荷开关), 作为变压器过负荷保护跳闸用。由带分励脱扣器的高压负荷开关继电保护动作特性曲线与限流熔断器“安-秒”特性曲线相交点对应的电流称之为交接电流。当变压器过载时, 小于交接电流的过负荷电流, 由分励脱扣器动作使高压负荷开关跳闸, 大于交接电流的过负荷电流, 由限流熔断器动作切断电路。一般选择交接电流接近转移电流, 以分别提高高压负荷开关、限流熔断器的利用率, 减少维护工作量。高压负荷开关-限流熔断器组合电器的转移电流一般约为 I 的 70%^[3], 与限流熔断器的熔断时间和高压负荷开关的动作时间有关。

转移电流、交接电流值是正确选择高压负荷开关与限流熔断器组合电器的关键。

3.4 参数计算及选用注意事项

图 1(b) 所示的终端变配电系统, 以变压器容量为 1 000 kV·A 为例, 介绍了整个计算过程。对容量在 1 250 kV·A 及以下的系统, 计算过程是类似的。即: 已知 $S_n=1 000 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 10/0.4 kV, 确定高压负荷开关与限流熔断器的参数。查产品手册, $S_n=1 000 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 10/0.4 kV 的变压器, $U_k\%=5$, 则:

$$I_{in.T} = \frac{S_n \times 10^3}{\sqrt{3} U_j \times 10^3} = \frac{1 000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 10.5 \times 10^3} = 55 \text{ A};$$

$$I_s = I_{in.T} \times 10 = 55 \times 10 = 550 \text{ A};$$

$$I_{\alpha} = I_{\alpha} = I_{in.T} \times 1.05 \times 1.15 = 55 \times 1.05 \times 1.15 = 66.4 \text{ A};$$

$$I = \frac{S_n \times 100}{\sqrt{3} U_k \% \times U_j} = \frac{1 000 \times 100}{\sqrt{3} \times 5 \times 10.5} = 1 100 \text{ A};$$

$$I_{CC.max} = I = 1 100 \text{ A}; I_{n.FE} = 82.5 \sim 110 \text{ A}.$$

有了变压器基本的与重要的计算参数, 再根据上面的论述, 从产品手册上选额定电压 12 kV, 熔断器额定电流 125 A, 额定短路开断电流 12.5 kA, 熔体额定电流 100 A 的限流熔断器; 选额定电压 12 kV, 额定电流 630 A, 额定短路关合电流 12.5 kA 的负荷开关。一般的高压负荷开关-限流熔断器组合电器, 限流熔断器的指针撞击高压负荷开关脱扣器的分闸时间 0.06 s, 故选分闸时间为 0.06 s。再对所选配电变压器保护用高压限流熔断器、高压负荷开关进行校验。限流熔断器的最小开断电流 $I_{CC.min}=(2.5 \sim 3.0) I_{n.FE}=(2.5 \sim 3.0) \times 100=250 \sim 300 \text{ A}$, 可见, 限流熔断器的最小开断电流在高压负荷开关的额定电流 630 A 范围内。

由高压限流熔断器产品手册中的“安-秒”特性可查出, 高压限流熔断器熔体额定电流 100 A, 在变压器励磁电流 I_s 为 550 A 时, 高压限流熔断器的动作时间为 6.5 s, 满足持续 0.1 s 的要求。高压限流熔

断器的灵敏度 $S_p = \frac{I_{k,min}}{I_{n,FE}} = \frac{0.866I}{I_{n,FE}} = \frac{1\ 100 \times 0.866}{100} =$

9.53 > K=6, 满足限流熔断器保护灵敏度的要求。其中 $I_{k,min}$ 为变压器低压侧母线两相短路电流折算到变压器高压侧之值。

由高压限流熔断器产品手册的“安-秒”特性可查出,当熔体额定电流等于 100 A, 变压器一次侧三相次暂态短路电流的有效值 $I = 1\ 100$ A 时, 限流熔断器的动作时间 0.01 s。该值小于限流熔断器撞击器触发高压负荷开关的分闸时间(0.06 × 0.9=0.054 s)。因此,不会发生电流转移,短路时,由限流熔断器开断电路,符合切除变压器短路故障的时间不大于 0.02 s 的要求。

所选高压负荷开关额定电流 630 A, 分闸时间 0.06 s。当发生电流转移时,限流熔断器首开相熔体熔化时间为 0.9 × 0.06=0.054 s。由高压限流熔断器产品手册的最小(-10%)“安-秒”特性可查出 0.054 s 所对应的组合电器转移电流为 923 × 0.866=799 A, 该值小于 $I = 1\ 100$ A, 也小于所选高压负荷开关额定短路关合电流 12.5 kA, 符合配电变压器保护的要求。可见,所选的高压负荷开关-限流熔断器组合电器满足配电变压器保护的要求。

至于油浸式变压器的瓦斯保护、干式变压器的超温保护,仅将这些信号接点接入高压负荷开关的跳闸及报警回路就可以了。

4 组合电器与真空断路器的比较

容量在 1 250 kV·A 及以下的 10/0.4 kV 终端变配电系统,变压器一次侧额定电流一般小于 69 A, 高压限流熔断器熔体额定电流一般不大于 125 A。目前生产的高压负荷开关-限流熔断器组合电器大多在限流熔断器熔体额定电流 125 A 及以下,主要是考虑到终端用户配电的特点。

4.1 保护配合性能比较

以往终端变配电所 10 kV 电源进线采用的真空断路器,保护整定值一般为过流 0.5 s,速断 0 s,零序 0.5 s。运行经验表明,由于真空断路器结构及控制保护回路的这些特点,真空断路器实际动作时间具有离散性,较易造成越级跳闸。高压负荷开关-限流熔断器组合电器,结构简单,控制与保护二者是分离的,经常性地分断与关合正常负荷电流由高压负荷开关完成;小于转移电流或交接电流的过负荷与短路电流,由限流熔断器撞击器直接撞击高压负荷开关或由高压负荷开关的分励脱扣器动作使高压负荷开关跳闸;大于转移电流或交接电流的过负荷电流

或短路电流,仅由限流熔断器动作切断电路,保护线路简单。高压限流熔断器具有速断功能,动作时间仅仅 0.01 s,不会越级跳闸。由于油浸式变压器要求短路时,切除故障的时间不大于 0.02 s,因此对油浸式变压器尤其适用。

4.2 操作过电压比较

真空断路器的灭弧能力较强,当用它来切断空载变压器时,易发生电弧电流过零强制灭弧,截流很大,导致 di/dt 很大,产生较高的操作过电压。高压负荷开关大多采用产气式、压气式或 SF_6 , 电弧在气体中冷却时仍导电,过零前的截流较小, di/dt 不大,操作过电压水平较低,对用电器具危害较少,更适合终端变配电系统。

4.3 经济性比较

真空断路器制造工艺、结构复杂,体积较大,维护不便。组合电器结构简单,能实现三工位操作(分、合、接地),顺应了终端变配电所一次、二次电路接线简洁化的大趋势。且同电压等级、容量的高压负荷开关-限流熔断器组合电器价格仅约真空断路器的 1/3。

5 结语

终端变配电所变压器容量大多在 1 250 kV·A^[5] 及以下,一般无需具有自动重合闸功能。在配电变压器的保护方面,高压负荷开关-限流熔断器组合电器与真空断路器基本相同,但结构与保护控制线路比真空断路器简单,切除故障时间短,故障率低,价格较便宜。此外,在开断空载变压器方面,高压负荷开关-限流熔断器组合电器操作过电压低,优于真空断路器,更能适应终端变配电所的控制保护,尤其适应于环网供电单元。只要正确选配高压负荷开关-限流熔断器组合电器就可以使变配电系统设计合理、运行安全稳定、故障时保护装置动作可靠。高压负荷开关-限流熔断器组合电器在 1 250 kV·A 及以下容量的终端变配电所工程设计、运行、配电设备成套等方面具有较高的性价比,值得大力推广应用。

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(第 2 版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 1994.
- [2] 刘介才. 供配电技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [3] 陈振生, 秦晓辉. 配电系统一次设备及其参数配合(EB/OL)[Z]. 网易专业门户网易电气, 2005.
- [4] 王季梅, 卜小玉, 蔡龙权. 高压负荷开关-熔断器组合电器转移电流的确定[J]. 高压电器, 1994, 30(6): 49-53.
- [5] 中华人民共和国机械工业部. 10 kV 及以下变电所设计规范(GB50053-1994)[S]. 北京: 中国计划出版社, 1994.

欢迎投稿! 欢迎订阅! 欢迎评刊! 欢迎刊登广告!