

纺织企业配电系统漏电分析及保护措施

徐玉琦

(中国纺织大学)

朱晓明

(上海市纺织工业局)

【摘要】 本文以理论分析和实测为依据, 讨论了纺织厂配电系统中漏电流的性质、路径、值域及危害, 分析了漏电保护器的防火防触电功能及局限性, 指明为漏电流最佳测点和最佳布局。为贯彻新规程采取漏电保护措施, 提供了理论依据和正确方法, 可作为电气及安全技术人员参考。

我国的低压配电系统, 基本有两种: (1) 中性点不接地系统。在该系统中, 一般用三相三线制结线, 保安方式采用保护接地制。(2) 中性点接地系统。在该系统中, 配电线路结线方式有三相四线和三相五线制(类似的), 保安方式采用保护接零制, 也有的用保护接地制。

实测表明, 在绝缘正常的情况下, 仍有漏电流分布于配电系统中。当电气设备绝缘击穿时, 又将产生故障性漏电流, 进而导致触电死亡事故和火灾事故。处于火灾现场的配电线路, 还将发生二次作用, 扩大火灾范围。因此, 漏电保护已成为纺织企业不可缺少的防火防触电措施。在广大农村和部分城市(如北京), 明确规定未装漏电保护不予供电。

纺织企业中电气设备的特点是: 容量小、数量多、分布均匀, 正常运行时的漏电流较大。若不顾及这些特点, 将因漏电保护器选型不当或安装部位不合理而频繁误动作, 进而影响生产。本文中心在于解决选型和选择安装部位问题。

一、漏电流的属性通路及最佳测点

在三相电路中, 各相电流的相量和为

$$I_A + I_B + I_C = 3I_{\Delta 0} \quad (1)$$

式中, $I_{\Delta 0}$ 是 A 相电流 I_A 的零序分量; $3I_{\Delta 0}$ 是三相总零序电流。

不难看出, $3I_{\Delta 0}$ 包含两种成份: (1) 三相不平衡电流 i_N , 以中性线为回路; (2) 漏电流

i_L , 以漏电电路为回路。即

$$i_N + i_L = 3I_{\Delta 0} \quad (2)$$

也就是说, 漏电流 i_L 是零序电流的一部分。这就是其属性。

漏电流的通路, 决定于配电系统及保安制。

(一) 中性点不接地系统中的漏电流通路

图 1 中, Z 是各相导线对地的分布性总阻抗, 由分布电容和分布性泄漏电阻组成。

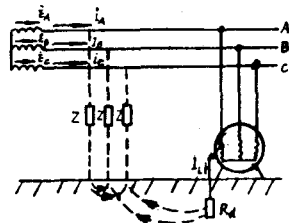


图 1

在绝缘正常的情况下, 各相导线对地阻抗均等于 Z , 大地相当于对称负载的中性点; 同样, 电机外壳也相当于对称负载的

中性点。对称负载中性点电位与电源中性点电位相同, 大地、电机外壳与电源中性点之间的电压为零。因此, 各相导线对地电压等于相电压。在此电压作用下, 各相导线产生对地电流和对电机外壳电流。但各相对地电流相量和为零, 对电机外壳电流相量和也为零, 即 $i_{\Delta 0}$ 、 i_L 、 i_N 为零。人体站在地上触及电机外壳不会触电。

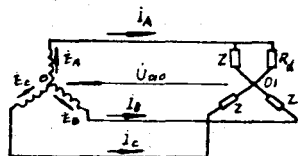


图 2

当电机(A相)绝缘击穿时, 图 1 的等

值电路如图2所示。

图中, O_1 相当于大地。由于中性点位移, 大地与电源中性点之间的电压 \dot{U}_{010} 为

$$\dot{U}_{010} = \frac{Z}{Z+3R_d} \dot{E}_A \quad (3)$$

电机外壳对地电压为

$$\dot{U}_{Ra} = \dot{U}_A - \dot{U}_{010} = [3R_d/(Z+3R_d)] \dot{E}_A \quad (4)$$

通过保护接地电阻 R_d 流经大地的漏电流为

$$I_L = \dot{U}_{Ra}/R_d = 3\dot{E}_A/(Z+3R_d) \quad (5)$$

式中: \dot{E}_A 是A相电源电势(V); Z 是各相导线对地分布性总阻抗(Ω); R_d 是保护接地电阻(Ω)。

不难看出, 图1中电机进线端的三相电流相量和就是 I_L 。因此, 在该系统中, 漏电流最佳测点是:

- (1) 在用电设备进线端测三相零序总电流;
- (2) 在保护接地线上测漏电流。

(二) 中性点接地系统采用保护接地制的网络中, 漏电流也以大地为回路, 漏电流为

$$I_L \cong \dot{U}_a/(R_0 + R_d) \quad (6)$$

式中: R_0 是变压器中性点接地电阻(Ω); R_d 的意义与式(5)同。

(三) 中性点接地系统三相五线制网络中的漏电路路

我国自行设计的工厂, 主要生产车间均用三相四线制电源线路, 另外装设专用保护接零干线。这种网络, 类似于三相五线制。电路如图3所示。

图中, 1*, 2* 是三相用电设备, 3* 是单相用电设备。

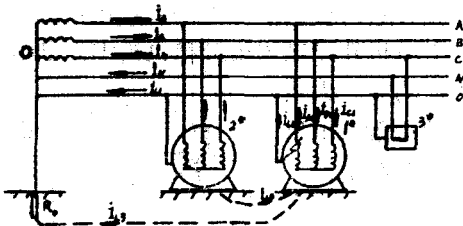


图 3

在绝缘正常的情况下, 单相用电设备投运后, 将有零序电流流过中性线。该零序电流是三相负荷不平衡电流, 用 I_N 表示, I_N 不流过接零干线。

当1*电机(A相)绝缘击穿时, 产生漏电流 I_L 。 I_L 的流电路径是: (1) 接零干线; (2) 大地和分布阻抗。

当单相设备投运并且1*电机A相绝缘击穿时, 各相导线的电流 (I_A 、 I_B 、 I_C) 相量和为 $3I_{A0}$ 。 $3I_{A0}$ 分流于两条路径:

- (1) 中性线;
- (2) 漏电通路, 即接零干线; 或大地及分布阻抗。

由此可见, 漏电流的最佳测点是:

- (1) 在电机进线端, 测A、B、C、N四根线的电流相量之和
- (2) 在接零线与电机连接处测漏电流。
- (四) 中性点接地系统的三相四线制

网络中漏电路路

工厂中离变电所远的生产车间, 民用建筑, 惯用三相四线制配电线路。其特点是中性线兼作保护接零干线。如图4所示

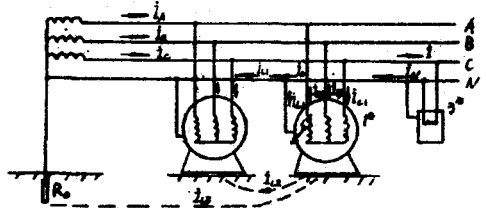


图 4

在绝缘正常情况下, 单相用电设备投运后, 不平衡电流 I_N 流过中性线并产生电压降 \dot{U}_{0M} 。 \dot{U}_{0M} 直接加于1*电机外壳与大地之间, 并引起三种现象:

- (1) 将在电机外壳与大地之间产生电流, 该电流是由不平衡电流转化来的漏电流。
 - (2) 人体触及电机外壳将有麻电感。
 - (3) 在中性线→电机外壳→大地这一路线上, 若有接触不良部位, 有可能产生电火花。
- 总之, 在绝缘正常情况下, 三相负荷不平

衡电流不仅流过中性线,而且还将流过漏电流通路。

当单相设备投运并且1*电机A相绝缘击穿时,不平衡电流 \dot{I}_N 和漏电流 \dot{I}_L 均以两条路径为回路:(1)中性线;(2)中性线→电机外壳→大地→R。

这种电路,漏电流最佳测点是:(1)干线上测定四线电流的相量和,在连接时,漏电流检测元件接于相线分支点之前和中性线分支点之后;(2)在电机外壳与大地和零线连接的部位测漏电流。

综合以上分析可得结论:

1. 配电系统中零序电流有两种成份,一种是不平衡电流 \dot{I}_N ;另一种是漏电流 \dot{I}_L 。 \dot{I}_N 与 \dot{I}_L 的相量和等于三相总零序电流($3\dot{I}_{\Delta 0}$)。漏电流属零序电流性质。

2. 故障性漏电流将引起麻电现象和触电事故。

3. 漏电流将产生电火花火种。

4. 避开不平衡电流而只对故障性漏电流作出反应,是提高漏电保护灵敏度和可靠性的关键。为此,必须合理地选择漏电保护器的型号与参数,正确确定漏电保护器装设部位和连接方式。

二、触电保护、防火保护与漏电保护

人体触电的后果,取决于通过人体的电流大小和通电时间。流过人体的电流小于摆脱电流(男9mA,女6mA)是安全的,不会致死;流过人体的电流大于摆脱电流而小于50mA,增加了不安全性;流过人体的电流超过50mA是危险的,必须将通电时间限制在允许时间内才不致触电死亡。长时间通过人体而不会触电致死的最大电流称为安全电流。

为了防止触电死亡事故,当漏电流大于安全电流时,应该迅速切断电路,具有该功能的保护措施称为触电保护。以安全电流作为动作值的保护器称为触电保护器。

漏电流产生的电火花能否引起火灾,取决

于电流大小。不致形成火种的最大电流,称为防火安全电流。为了防止火灾事故,当漏电流大于防火安全电流时,应迅速切断电路。具有该功能的保护措施,称为防火保护。以防火安全电流为动作值的漏电保护器称为防火保护器。

出现故障性漏电则保护,称为漏电保护。

笔者在上海部分纺织工厂实测情况,工厂供电系统末端的用电设备正常运行时,漏电流已超过人体安全电流和防火安全电流,且有以下几点规律:

(1) 在绝缘正常情况下,与保护接地制的情况相比,保护接零制配电系统中漏电流较大。

(2) 在绝缘正常情况下,电机温度越高,漏电流也越大。

(3) 在绝缘正常情况下,电机容量大,漏电流也大。

(4) 当电气设备绝缘击穿时,将产生故障性漏电流,进而使总漏电流显著增大。

基于上述情况,为了提高漏电保护的可靠性和灵敏度,漏电保护器应避免正常情况的漏电流,仅对故障性漏电流起保护作用。

三、漏电保护器防火防触电作用及局限性

漏电保护器的动作电流虽大于人体安全电流和防火安全电流,仍有防触电和防火作用,表现在:

1. 故障性漏电流持续时间越长,引起触电死亡和火灾的几率越高。漏电保护器及时切断故障性漏电流,降低了发生触电死亡和火灾事故的几率。

2. 在没有漏电保护的情况下,火灾现场的导线和电气设备的绝缘被破坏后,将使部分熔丝熔断,进而使故障转化为单相接地(漏电)而长时间不能解除,可能因二次作用将火灾事故扩大范围。在有漏电保护器的情况下,能防止发生二次作用扩大火灾事故范围。

工厂供电系统中,在防触电和防火方面,漏电保护器的作用有一定的局限性。表现在:

1. 如果漏电流大于安全电流而小于漏电

保护器动作电流，漏电保护器不能动作，这种漏电流仍有引起触电死亡的可能性。

2. 漏电保护只能切断漏电流，而不能防止漏电流产生。如果漏电流产生的电火花已经点燃易燃物，漏电保护器也不能使之返回。

但尽管有上述局限性，其防触电和防火作用仍很显著。据统计，与不装漏电保护器的情况相比，装漏电保护器后，触电死亡人数和火灾事故，均降低到原来的三分之一以下。

四、漏电保护器的应用性能分析

为了防止发生触电死亡事故和火灾事故，供电系统末端的电气设备均应装漏电保护器；为了防止火灾现场导线的二次作用扩大火灾范围，并且防止触电和火灾，电力线路也应装漏电保护器；欲使漏电保护器有较高的可靠性和灵敏度，应合理选择漏电保护器的型号和动作电流，应正确确定漏电保护器的装设部位。

(一) 漏电保护器合理的装设部位

末端漏电保护，应对末端用电设备故障性漏电流做出反应，予以保护。各种系统中装设漏电保护器的合理部位如下：

1. 在中性点不接地系统和中性点接地系统中，凡保安方式采用保护接地制的，均应将漏电保护器装于用电设备进线端，测三相的总

零序电流。

2. 在中性点接地系统的三相五线制网络中，漏电保护器应装于各用电设备枝接点的干线上，测 A、B、C、N 四根线电流相量和。

3. 在中性点接地系统的三相四线制网络中，漏电保护器也装于枝接点的干线上，但接于相线枝接点之前(近电源方向)，接于接零线枝接点之后，测四根线电流相量和。

干线漏电保护，既是末端漏电的后备保护，又是干线漏电的主要保护。装于干线始端。对三相三线制干线用三线漏电保护器；对三相四线制干线和三相五线制干线，用四线漏电保护器。但需说明，在 I_N 不稳定的网络中，在干线上欲准确地避开 I_N 而测出 I_L 是较为困难的。

(二) 纺织厂对漏电保护器特殊要求和选型

在纺织厂中，多数干线截面为 50~120 mm²，干线电流多数在 200A 以下；分干线截面一般在 25mm² 以下，分干线电流多数在 100A 以下。这有利于选配漏电断路器。但是，纺织厂的特点是：①不允许火种进入车间；②电力线路几经分支，各级漏电保护应有选择性。

根据上述特点和产品应用特性，应选择有生产许可证(或性能好)的产品并加防护措施。华东地区有生产许可证(或性能好)的漏电开关厂列入表中供参考。

厂名	漏电断路器型号	额定电流	应用场合	备注
上海华通开关厂	DZ12L-60		保护电动机	
嘉兴电气控制设备厂	DZ15L-40 FIN 25 FIN 40 FIN 63	40A 25A 40A 63A	配电 保护电动机	
温州低压开关厂	DZ15L-40 DZ15L-63 DZ10L-100 DZ25L-200 DZ18L-20(漏电、过压、过载)	40A 63A 100A 200A 20A	配电 保护电动机 单相	已颁发生产许可证
上海立新低压开关厂	DZ15L-40 DZ15L-63 DZ10L-100 DZ25L-200	40A 63A 100A 200A	配电 保护电动机	已颁发生产许可证
武进县新安电器开关厂	JDLK-DA JDLK-DM DMI	6A、10A、15A 20A 30A	单相	
上海东海电器厂	DZ15L-40 DZ10L-100			认证

注：本表摘自《华东地区电器企业产品总览》。