

# 浅谈消除长电缆感应电压的应用方法

## Discussion on the Application Method of Eliminating Induced Voltage in Long Cables

靳永超 纪安亮

Yongchao Jin Anliang Ji

河北西柏坡发电有限责任公司 中国·河北 石家庄 050400

Hebei Xibaipo Power Generation Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050400, China

**摘要:** 论文通过两个事件案例,分析长距离的交流控制电缆中容易感应出感应电压。由于电缆敷设不规范、电磁场分布不规律和分布电容的影响,往往容易在交流电缆中感应出交流电压来,使控制回路产生拒动和误动的现象,影响各个设备的正常运行,威胁着整体设备的安全运转。论文通过分析作者所在电厂实际案例,经过电磁感应公式推导和楞次定律分析,根据实际效果对比,选取了降低感性电压和容性电压的方法,取得了一定的效果。

**Abstract:** Through two event cases, this paper analyzes that the induced voltage is easy to be induced in the long-distance AC control cable. Due to irregular cable laying, irregular electromagnetic field distribution and the influence of distributed capacitance, it is easy to induce AC voltage in the AC cable, causing the control loop to reject and malfunction, affecting the normal operation of each equipment and threatening the overall safe operation of equipment. By analyzing the actual case of the power plant where the author works, through the derivation of electromagnetic induction formula and the analysis of Lenz's law, and according to the comparison of actual effects, this paper selects the method of reducing inductive voltage and capacitive voltage, and certain results are achieved.

**关键词:** 交流电源;感性电压;容性电压

**Keywords:** AC power supply; inductive voltage; capacitive voltage

**DOI:** 10.12346/peti.v3i4.6428

## 1 引言

交流电源在电厂普遍使用,电磁场广泛存在于电缆隧道、电缆桥架,通常与交流控制电缆的距离不会太远,容易在屏蔽效果不好的控制电缆中感生出交流电源,影响设备的控制回路使其误动或拒动。论文理论结合实际案例,推导分析出感应电压产生的缘由,并根据实际效果明显的解决方法。

## 2 案例一

### 2.1 事件背景

某厂1-4号机风机油站电机控制回路,时常会出现油泵停止后再次启动失败的现象,尤其是当主备泵倒换以后,停运之后的备用泵无法在主泵故障时,再次正常启动,威胁着风机的安全稳定运行,为机组的整体安全运行埋下了隐患。

经过多次现场检查,发现这种现象都是由于合闸自保持回路串联的常闭接点打开所致。这几台风机油站电动机的控制回路相同、元器件相同,是一个共性的问题。电机的控制回路如图1所示。

### 2.2 原因分析

由于两条平行电缆之间相互靠近,就会出现电容。如果线路的长度较短,那么电容值也相对较小。一般来说,两条较短的平行电缆相互靠近而产生的电容值是可以忽略不计的。但是如果电缆的长度很长,或者作为交流控制回路,那么其产生的电容值就相对较大。由于新型的接触器和继电器具有较小的自身功率消耗、较高的线圈阻抗,在使用新型接触器和继电器时,交流控制很容易受到电缆芯线电容产生的感应电压的影响。在控制远方的交流继电器或者中间继电器时,要通过继电器接点或者控制开关,如按钮、转换开关等,

**【作者简介】**靳永超(1981-),男,中国河北晋州人,本科,工程师、高级技师、一级注册建造师(机电工程),从事发电厂继电保护研究。

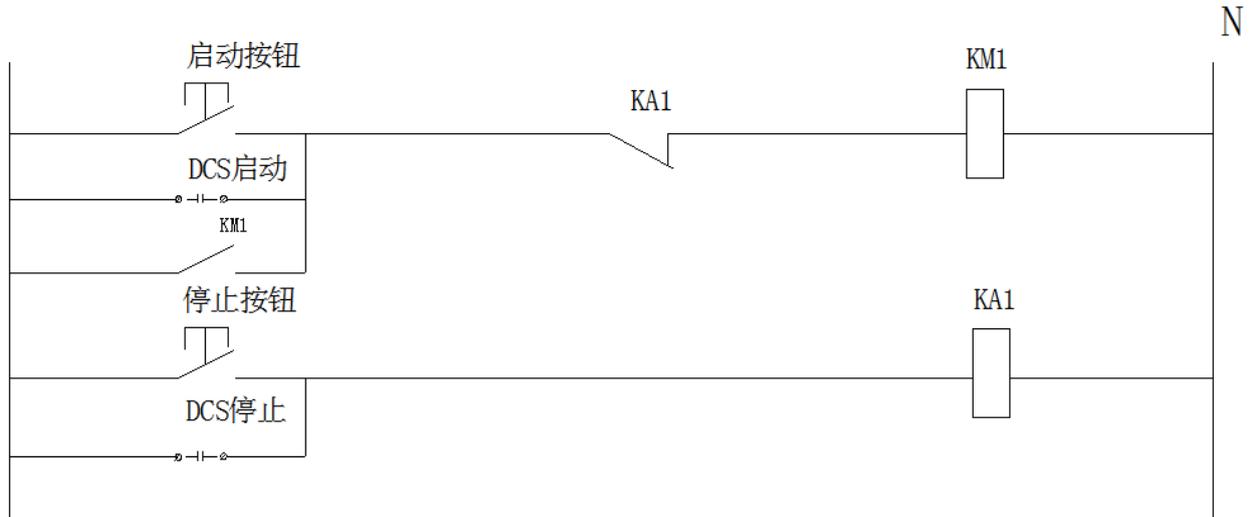


图 1 油站电机控制回路

从而控制电气设备的运行。然而，交流继电器和控制开关之间的距离越远，就需要越长的连接电缆进行连接。当线缆达到一定的程度时，电缆芯线之间就会产生一定的电容，进而产生感应电压，从而造成交流继电器和接触器不能复归，或者自行吸合。

可以发现电缆的线间电容与控制电缆的长度成正比，而随着电缆电容电压的不断增大，交流继电器 KM2 或 KM1 中流过的线圈电流也会随之增大。由于流过线圈的电流与继电器线圈两端的电压成正比关系，因此继电器线圈两端的电压也会增大。一旦继电器的返回电压小于继电器线圈的两端电压，就会使交流继电器 KM2 或者 KM1 难以返回，并一直保持动作的状态，而二者的辅助接触点的状态就是保持断开，隔离开关的合闸或者分闸控制回路就会一直处于断线状态。当电缆进一步加长时，线间电容以及电压就会进一步加大，加大线圈两端的电压，直至造成继电器误动，产生误分、误合等问题<sup>[1]</sup>。

经过现场检查发现中间继电器 KA1 的常闭接点为打开状态，是电动机跳闸和启动失败的直接原因。而此时，继电器 KA1 处于微动的状态，把油站电动机控制电源停电以后，测量从主控室 DCS 间来的电缆芯有 40~100V 不等的交流电压。继电器 KA1 为欧姆龙 MY2N-J 型继电器，额定工作电压为 AC220V，测试动作电压为 135V，返回电压为 38V。正是由于电缆芯中的感应电压使 KA1 继电器动作后不能返回，其常闭接点打开，进而使 KM1 接触器不能吸合，电动机不能启动。

从理论上讲，跳闸后中间继电器 KA1 线圈两端电压应为 0，而实际上有 40~100V 不等的电压降。其主要原因是由于电缆线路较长，而且系统的接地方式和接地点的情况不太好，产生了很高的感应电压造成了这种情况。这里的感应电压主要是自感电压。电缆线路本身有一自感：

$$L=W/I$$

式中，I 为导线中通过的电流，W 为自感磁链，那么就有  $W=LI$ 。

有了自感磁链就会产生自感电动势：

$$e_L=-dW/dt=-L di/dt$$

此式的意义是：自感电动势的大小在电缆长度不变时与  $di/dt$  成正比，负号表示自感电动势的方向与电流的变化方向相反。当跳闸的时候，控制回路断开， $di/dt$  减小。根据楞次定律可知，自感电动势的方向与电流的方向相反，阻碍了 HJ 线圈两端的电压的减小，致使其电压下降变缓而引起误动。

### 2.3 解决方法

从油站控制箱到 DCS 小间有 380 米左右的距离，一方面控制电缆和一次动力电缆在电缆沟内交错放置，产生感应电压；另一方面电缆芯之间、电缆芯与屏蔽层会产生容性感应电压。根据现场分析判断，可以采取以下四种消除感应电压的方法：

- ①将系统中所有控制盘柜及控制箱的接地线进行检查，并将不可靠的部分与地做了良好连接。
- ②对控制电缆两侧的电缆头重新制作，屏蔽层重新接地，保证屏蔽层可靠接地。
- ③将配电柜控制回路至就地端子箱电缆中感应电压较低的备用芯改用在现在的控制回路中，将拆下的感应电压较高的电缆芯同其他电缆备用芯一并接地。
- ④在 KA1 继电器线圈两侧并联大容量型号为 LC1D09 型的接触器，线圈电阻为 500Ω，消除电缆芯中的感应电压。

对以上四种方案，逐项实施验证，最终发现第四条在继电器 KA1 线圈并联接触器的方法效果明显，可以把感应电压有效稳定地降低到 3~8V 左右，如图 2 所示。



图2 现场加装施耐德 LC1D09 型接触器

首先在停备的2号机组实施了该方案，机组启动后没有再发生过停止后启动失败的情况。之后此方法又陆续在另外三台机组的风机油站控制箱中实施，改善效果非常明显<sup>[2]</sup>。

对交流控制回路中感应电压的产生原理进行了简要的分析，并分析了交流控制回路中产生感应电压的危害，以此为基础提出了相应的解决方案，并对其中的一种方案进行了实验。交流控制回路中产生感应电压会造成设备的损坏，甚至带来人身伤害问题，在生产的过程中绝不能掉以轻心，必须采取有效的措施进行解决。

## 2.4 结论

投运时间比较长的电厂，由于早期基建的规范性不足，以及多年来不停地改造敷设电缆，容易产生感应电压和容性电压，引起电气设备的不稳定运行。通过在继电器线圈并联接触器的方法，有效地消除了感应电压，提高了设备的安全稳定运行<sup>[3]</sup>。

## 3 案例二

由于电动机控制电缆越来越长，很容易造成控制线路中出现感应电压。一旦出现感应电压，电动机就会出现误动和拒动，甚至导致安全事故，造成经济损失和人身伤害。论文选取了某电厂电气调试过程中出现的电路隔离开关无法正常控制为例，对交流控制回路中感应电流产生的原因和严重影响进行了简要的分析，并提出了如何消除交流控制回路中感应电压的具体方法。

### 3.1 交流控制回路中产生感应电压的原因以及影响

控制电缆中由于分布电容的存在，同一根电缆中通电线

芯会给其他芯线带来感应电。通常如果控制电缆不是很长，这种感应电不明显，因此设计人员常忽视这种感应电的存在。但是当控制电缆达到一定的长度，再加上其他外部因素的影响，这种感应电就会表现出来，往往造成现场就地控制开关误动以及人员触电，给生产和运行人员带来安全隐患，而这种感应电是不可能被完全消除的，只能采取措施去降低它某电厂对2×600MW机组进行电气调试，在对1号机组线路隔离开关2313和2号机组线路隔离开关2321进行远方控制时发现，控制回路交流继电器无法进行复归，这样一来就无法对隔离开关的合闸和分闸进行有效地控制。该电厂对2次回路进行了检查，通过检查发现控制回路中有一根铜芯电缆属于共用状态，其总长度达到了500m，规格为4×2.5mm。该电厂同时对交流继电器线圈两端的感应电压进行了测量，测量结果为88V。

由于两条平行电缆之间相互靠近，就会出现电容。如果线路的长度较短，那么电容值也相对较小。一般来说，两条较短的平行电缆相互靠近而产生的电容值是可以忽略不计的。但是如果电缆的长度很长，或者作为交流控制回路，那么其产生的电容值就相对较大。由于新型的接触器和继电器具有较小的自身功率消耗、较高的线圈阻抗，在使用新型接触器和继电器时，交流控制很容易受到电缆芯线电容产生的感应电压的影响。在控制远方的交流继电器或者中间继电器时，要通过继电器接点或者控制开关，如按钮、转换开关等，从而控制电气设备的运行。然而交流继电器和控制开关之间的距离越远，就需要越长的连接电缆进行连接。当线缆达到一定的程度时，电缆芯线之间就会产生一定的电容，进而产生感应电压，从而造成交流继电器和接触器不能复归，或者自行吸合。

### 3.2 交流控制回路产生感应电压的原理

隔离开关的交流中控分和中控合是集控室的分闸控制触点和合闸控制触点，能够进行自动复归。其中分闸控制交流继电器为KM2，合闸控制交流继电器为KM1，C2和C1既是分闸和合闸控制电缆线间的电容，又是KM2的常闭辅助触点。在正常的运转过程中，由隔离开关通过集控室来发出分闸或者合闸的指令，中控分或者中控合的触点就会闭合，从而联通整个控制回路。此时交流继电器KM2和KM1的线圈就会出现励磁后动作，完成隔离开关的分闸或者合闸。在完成分闸或者合闸之后，中控分或者中控合的触点就会自行返回，回路会在KM2或者KM1的控制下自动断开并复位。

例如，在合闸和分闸回路中，容抗值远大于电缆的电阻和感抗值，因此可以忽略电缆的电阻和感抗值。

在分闸或者合闸控制电缆的线间电容用C来表示，继电器线圈的感抗和电抗分别用X1和R来表示，接触器线圈的两端电压和线间电容电压分别用U2和U1来表示。B为磁感应强度；Φ为感应磁通；N为感应线圈的匝数（因为是平直导线取1）；A为导线靠磁场侧半球面积；R为控制

电缆距导线的距离（近的取 7.85m 远的取 11.1m，因为受路基条件限制，波动范围在 0.3m 左右，因为开关都在正线所以侧面限界值取 3.1m）； $\mu$  为空气的磁导率，因为空气中磁感应强度和磁场强度基本相等，所以空气的磁导率取 1；其他高压线路对控制电缆的感应电干扰同样按照上述内容，对复杂线路要综合进行考虑和计算。

### 3.3 交流控制回路受到感应电压的影响

可以发现电缆的线间电容与控制电缆的长度成正比，而随着电缆电容电压的不断增大，交流继电器 KM2 或 KM1 中流过的线圈电流也会随之增大。由于流过线圈的电流与继电器线圈两端的电压成正比关系，因此继电器线圈两端的电压也会增大。一旦继电器的返回电压小于继电器线圈的两端电压，就会使交流继电器 KM2 或者 KM1 难以返回，并一直保持动作的状态，而二者的辅助接触点的状态就是保持断开，隔离开关的合闸或者分闸控制回路就会一直处于断线状态。当电缆进一步加长时，线间电容以及电压就会进一步加大，加大线圈两端的电压，直至造成继电器误动，产生误分、误合等问题。

### 3.4 消除交流控制回路中感应电压的具体方法

交流控制回路中产生的感应电压会对设备的正常运行造成严重的影响。例如，某电厂的隔离开关中的继电器两端感应电压比交流继电器的返回电压大时，就会出现合闸之后的隔离开关难以正常复位的问题。可以采取以下一些措施来解决这一问题：

①为了使接触器线圈上两端的感应电压减小，可以在接触器的线圈两端进行并联电容。

②为了使接触器线圈上两端的感应电压减小，可以在接触器的线圈两端进行并联电阻。

③可以使用具有较高的释放电压限的接触器。

④可以使用具有较小的阻抗的接触器。

⑤如果需要使用较长的交流控制电缆，可以考虑使用不同的芯电缆。

⑥如无必要，不要使用过长的控制电缆，对控制电缆的长度进行控制。

该电厂在处理交流控制回路中产生感应电压时采用了在接触器的线圈两端进行并联电阻的方法，并取得了良好的效果。通过并入电阻进行分流，控制回路的正常工作得到了有效的保障。值得注意的是，因为具有过大的电容电阻，如果使用的电阻过小，则无法有效地分流，也就无法对感应电压进行消除，还会造成电阻的烧毁。如果选用的电阻过大，又会使整个控制回路的功耗加大。因此在选择电阻时要充分的考虑实际情况和现场材料的情况。该电厂综合考虑的各方面的情况，选择了容量为 50W、阻值为 1k $\Omega$  的电阻，将其并入分闸回路，并进了现场实验。实验证明，该方法具有价格低廉、操作便利、维护方便的优点，而且可以使交流控制回路中的感应电压消除，是一种行之有效的消除交流控制回路中感应电压的方法。

## 4 结语

案例结合实例，对交流控制回路中感应电压的产生原理进行了简要的分析，并分析了交流控制回路中产生感应电压的危害，以此为基础提出了相应的解决方案，并对其中的一种方案进行了实验。交流控制回路中产生感应电压会造成设备的损坏，甚至带来人身伤害问题，在生产的过程中绝不能掉以轻心，必须采取有效的措施进行解决。要综合各项实际因素，选择价格低廉、操作和维护方便的措施来消除交流控制回路中的感应电压。

## 参考文献

- [1] 郑楠,郑彬,班连庚,等.750kV强耦合并行单回架设线路感应电压和电流研究[J].电网与清洁能源,2013,29(8):38-44.
- [2] 杜建华,王长水.控制电缆分布电容对控制回路的影响分析及处理[J].自动化技术与应用,2010,29(9):120-122.
- [3] 张婷,张振宇.消除交流控制系统信号干扰的方法[J].科技传播,2014,6(7):198-199.