

[防晃电]

一种综合防晃电方案在煤化工生产中的应用

文/中国神华煤制油化工有限公司鄂尔多斯煤制油分公司 文英韬

分析系统电压波动时不同电气设备的工作特性，根据这些特性有针对性地完善不同工况下的防晃电措施，基于化工厂连续安全生产特点，设计实施了一种以后备电源系统及抗晃电模块为技术支撑多种抗晃电措施并行的综合应用技术方案，解决由系统波动问题给用户造成的经济损失和安全停车困扰。

在煤化工等领域的生产中，当电网发生晃电等供电故障时，会使供电电压瞬时跌落或波动，影响工业生产中对电压敏感的电气电子设备的正常工作，造成生产中断，甚至造成严重的经济损失。

一些企业采用了双路电源供电、柴油发电机后备电源和不间断电源设备（UPS）等解决方案，而这些方案既有优点也存在不足：双电源供电有切换时间，在双电源切换过程中变频器会出现欠电压停机；UPS的过载能力很难满足大功率电动机的起动电流，如通过增大UPS的容量来弥补这一缺陷，则加大了投资成本。因此，在仔细分析晃电原理与电气元件特性的基础上，根据企业的实际需求设计合理的抗晃电综合治理方案。

防止单次晃电时接触器的释放

接触器属于控制电气元件，合闸线圈得电后产生电磁作用，控制主回路触头的吸合，接通和分断主回路。在交流或直流控制电源电压为额定值的85%~110%范围内均应可靠吸合，释放电压应不高于控制电源额定电压的75%。另外，接触器的释放

时间是一项非常重要的指标。晃电时，后备电源接入时间如果小于接触器的释放时间（最快4 ms），则接触器会释放，负载供电中断。现有的备自投切换方案、快切装置等备用电源投切方案中，都是由动作延时加开关的固有动作时间组成，整体切换时间往往会大于接触器的释放时间，上述备用电源切换方式难以满足晃电时保持接触器吸合的要求。

目前针对接触器触头保持的解决方案主要有以下两种：一种是接触器晃电保持式，另一种是晃电释放电压再起式。保持式可分为集中供电和独立供电模块式两种，集中供电方式，如UPS供电，当供电电源故障时，影响范围较大，采用独立供电的抗晃电模块则规避了这一问题。再起式属于补救式方案，一般需配置延时功能后分批起动，防止群起电流过大，将系统电压拉跨。

防晃电模块工作原理：晃电发生时，抗晃电模块瞬时断开线圈的交流电源，通过内部储能电容输出直流电压到接触器线圈上，这一时间小于接触器释放时间，能够保持住线圈有效吸合。电压恢复后，抗晃电模块断开直流电压输出，无缝切换回交流电压。具体如图1所示。

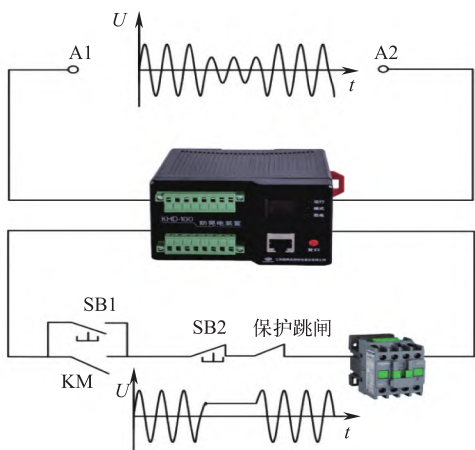


图1 防晃电原理简图

防止连续晃电时接触器的释放

系统电压连续晃电是指系统电压在短时间内（一般20~500 ms）电压持续发生跌落-恢复-跌落的情况。造成连续晃电的主要原因是电网设备绝缘老化异常放电、绝缘子异常放电等情况。其波形示意图如图2所示。

利用抗晃电模块的电压恢复确认功能，当电压跌落恢复后，模块并不立即将接触器线圈电压恢复到交流电压，而继续输出直流维持能量。如果系统电压在此确认时间内一直维持正常电压，则此时间后切换回交流电压；如果电压再次跌落，模块将继续按照维持时间输出直流能量，继续保持接触器吸合，直到电压恢复稳定后切换回交流电压供电。防晃电时接触器线图电压如图3所示。

续按照维持时间输出直流能量，继续保持接触器吸合，直到电压恢复稳定后切换回交流电压供电。防晃电时接触器线图电压如图3所示。

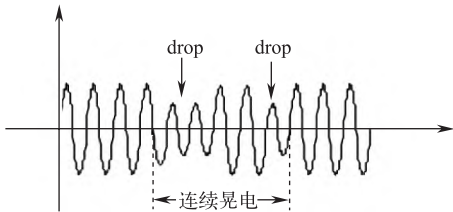


图2 系统发生连续晃电波形示意图

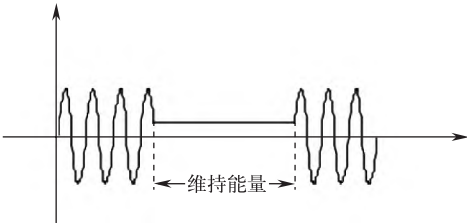


图3 防晃电时接触器线圈电压

如图4所示，控制电源可取1L1/1L2/1L3任意一相，失电压再启动功能根据实际需要进行配置，短路或单相接地跳断路器，控制电源失电压，模块判断为晃电，1、2端子输出直流，但QF常开触头断开接触器线圈回路，接触器释放。避免断路器跳闸后，保持接触器运行。

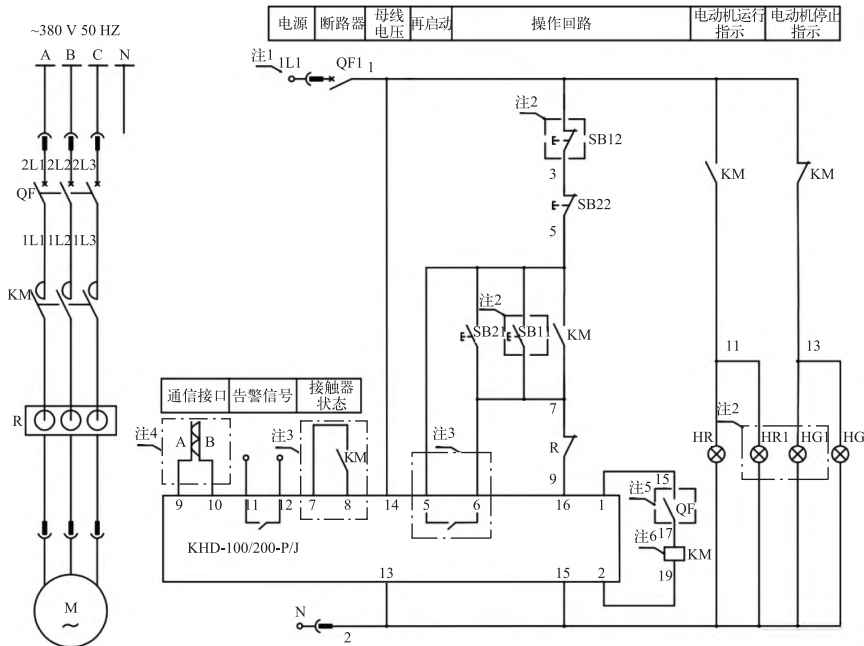


图4 220 V接触器晃电保持典型接线图

低压变频器的防晃电方案

低压变频器通过交-直-交实现变频调速，变频器的低压和过电压跳闸都可以判断内部直流电压。欠电压跳闸阈值一般是 $0.65U_1$ 。对于400 V单元 U_1 为380 V；对于690 V单元， U_1 为525 V。所以对于400 V单元DC 334 V跳闸，对于690 V单元DC 461 V跳闸。

低压变频器在电压降低时，导致变频器停车有两方面原因：一是控制回路采用系统电源控制时，电压跌落导致控制信号丢失；二是系统电压降低导致变频器直流母线电压降低。

针对防止低压变频器电压扰动采取了如下技术方案：

1) 变频器自复位功能。当电压发生扰动时，变频器自动停车，但变频器故障出口继电器被闭锁。当电压在预定时间恢复时，如果此时变频器启动/运行信号未丢失，则变频器自启动。此方案需UPS带控制回路作为技术支撑。

2) 变频器直流支撑。采用外部控制单元，将应急直流电源接入变频器直流母线，晃电时，瞬时投入后备直流电源，负载得到持续供电保障。该方案优点是：可靠性较高，支撑时间可以根据电池放电容量进行调整。不足是：需要按负荷容量配置电池组，投资成本较大。

低压变频器（VFD）抗晃电原理如图5所示。

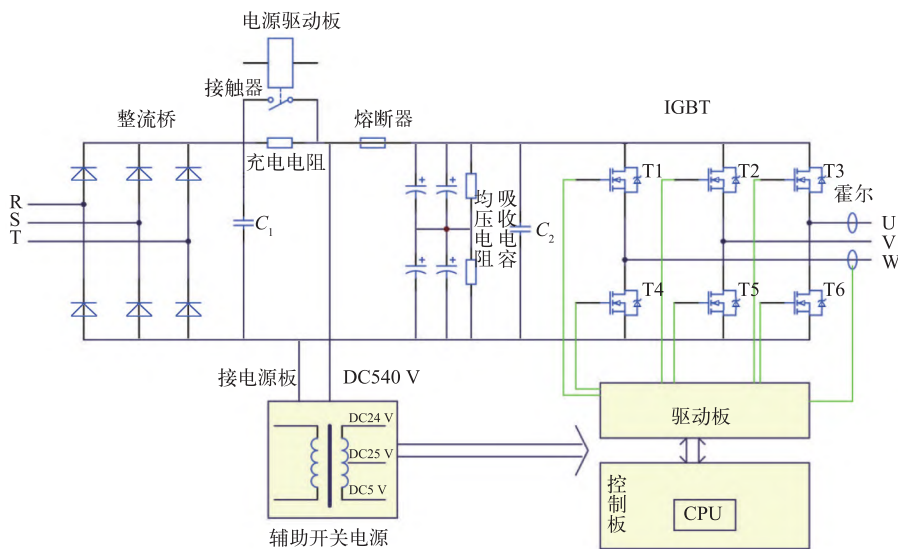


图5 低压变频器（VFD）抗晃电原理图

基于上述原理实施应用后备电源及抗晃电模块综合支撑技术

大规模晃电不可避免，那么关注点不只在重要设备的抗晃电功能上，还应包括重要机组无事故安全停车，虽然优先保障生产运行，但不应以牺牲安全为代价，这就对抗晃电方案的设计和实施提出了更高的要求。既要保证设备的平稳运行，还要保证事故油泵、辅油泵和盘车电动机等一些安全辅助停车的重要机组电动机正常运行。这时，传统的抗晃电方案才有了用武之地，只不过需要结合新技术对配置方案进行适当优化，下面是一个应用案例。

某化工公司运行十几年，厂区发生晃电6次，晃电时间一般在100 ms以内，一些重要的低压供电设

备受到影响，造成装置生产波动。为确保公司各装置提高晃电时抗扰动能力，根据现场电气设备的不同特点，实施了一系列具有针对性的措施：

- 1) 将重要电动阀门控制电源改为引自A、B、C不同相，增强某一相电压波动时的抗扰动能力。
- 2) 调整变频器参数，AI输入故障修改为等于信号丢失前最后转速模式；直流母线低电压自动复位功能开启；晃电后，变频器复位再启动功能与工艺协商是否启用此功能。
- 3) 对参与装置联锁的重要电动机回路增加抗晃电模块，避免晃电和适时连续晃电接触器释放。
- 4) 较大规模晃电或系统电压大幅波动不可避免时，为保障装置能够安全停车，采取应急电源综

合供电方案：为防止上述情况对装置系统安全造成影响，2017年某公司空分装置经过设计增加应急发电机1台，发电机应急配电柜2面，发电机控制箱1个。为进一步保证在外电网和自备电站均出现异常

时的工况，于2019年补充增加应急配切换柜1面和EPS 2套，以增加在供电异常情况下空分装置紧急安全停车的可靠性。

双电源切换柜一次图如图6所示。

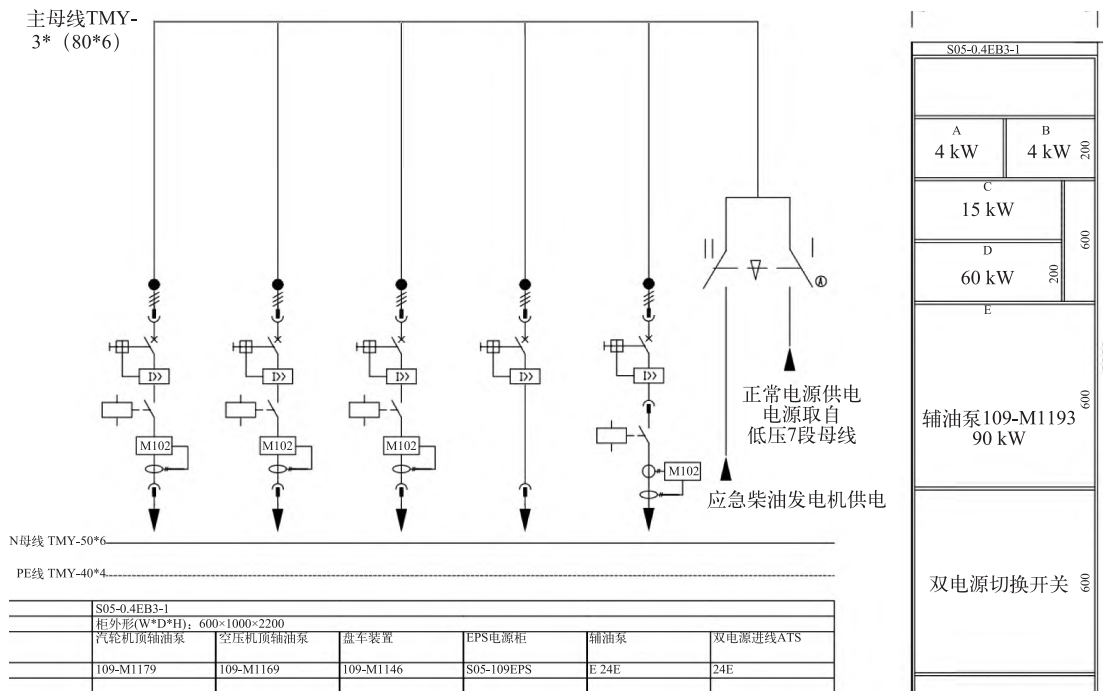


图6 双电源切换柜一次图

双电源切换柜晃电后供电逻辑说明：2套电源切换柜，市电电源取自空分S05变电所0.4 kV应急Ⅶ段；发电机电源均单独电缆敷设取自空分S05变电所发电机出线开关。当发生晃电时，双电源切换柜由正常电源切换至柴油发电机供电，两个切换柜互不影响。109单元切换柜所带设备有：辅油泵09-M1193（90 kW）、空压机顶轴油泵09-M1169（4 kW）、汽轮机顶轴油泵09-M1179（4 kW）、盘车电动机09-M1146（15 kW）和109-EPS（60 kV·A），其中109-EPS带事故油泵09-M1198（7.5 kW）。110单元切换

柜所带设备有辅油泵10-M1193（90 kW）、空压机顶轴油泵10-M1169（4 kW）、汽轮机顶轴油泵10-M1179（4 kW）、盘车电动机10-M1146（15 kW）和110-EPS（60 kV·A）。110-EPS带事故油泵10-M1198（7.5 kW）。以上负荷通过工艺操作人员根据实际工况手动起机。事故油泵采用三相并连接触器，由双电源切换柜母线上的EPS供电，EPS蓄电池容量考虑到压降，按带载2 h考虑。

配套EPS控制原理如图7所示。

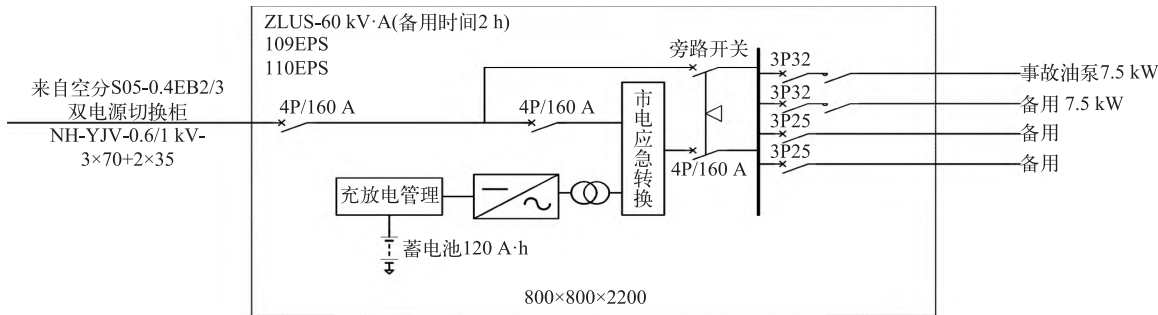


图7 配套EPS控制原理

1) 总负荷241 kW, 均为异步电动机, 2台90 kW, 其余61 kW, 额定电压400 V, 起动方式为直接起动。

2) 起动电动机功率公式为

$$P_q = \frac{P_e / \eta}{K_m} K_i C (1 - \Delta u \%)$$

式中, P_q 是电动机起动所需功率; P_e 是电动机额定功率; η 是电动机额定效率, 取92%; K_m 是全压起动转矩倍数, 通常取1.6~2此处取1.8; K 是全压起动电流倍数, 一般取7~10, 此处取7.5; C 是起动方式电压降系数, 全压起动取1, 星三角起动取0.58, 自耦变压器起动取0.65~0.8, 软起动器起动取0.3~0.7, 此处按全压起动方式取1; $\Delta u \%$ 是线路末端电压降百分比, 取10% (客户电动机起动时允许10%的压降)。

根据起动顺序要求: 发电机起动后至允许加载7 s; 第一批8台异步电动机陆续起动, 合计61 kW; 然后1台90 kW异步电动机起动; 起动完成后另1台90 kW 异步电动机起动, 起动全部完成。

15 kW电动机同时起动, 所需机组提供功率

$$P_q = (30 / 0.92 / 1.8) \times 7.5 \times 1 \times (1 - 0.1) = 122 \text{ kW}$$

7.5 kW电动机同时起动, 所需机组提供功率

$$P_q = (15 / 0.92 / 1.8) \times 7.5 \times 1 \times (1 - 0.1) = 62 \text{ kW}$$

4 kW电动机同时起动, 所需机组提供功率

$$P_q = (16 / 0.92 / 1.8) \times 7.5 \times 1 \times (1 - 0.1) = 64 \text{ kW}$$

90 kW电动机单独起动, 所需机组提供功率

$$P_q = (90 / 0.92 / 1.8) \times 7.5 \times 1 \times (1 - 0.1) = 367 \text{ kW}$$

3) 按电动机从大到小顺序起动: 先起动2台15 kW电动机, 根据上述计算, 起动2台15 kW电动机需要起动功率122 kW, 剩余122 kW-30 kW=92 kW, 再起2台7.5 kW电动机满足起动要求; 此时剩余122 kW-30 kW-15 kW=77 kW, 再起4台4 kW的电动机时, 起动功率满足要求, 此时剩余77 kW-16 kW=61 kW; 起动8台异步电动机 (合计61 kW) 需要起动功率122 kW。

以上设备全部起动运行后, 再起1台90 kW异步电动机, 此时需要起动功率367 kW, 剩余的61 kW满足不了90 kW电动机的起动要求, 还应增加367 kW-61 kW=306 kW; 最后起动另1台90 kW异步电动机, 此时需要起动功率367 kW, 剩余的(306 kW+122 kW)-61 kW-90 kW=277 kW,

满足不了90 kW电动机的起动要求, 还应增加367 kW-277 kW=90 kW; 所以所需机组总功率约为122 kW+306 kW+90 kW=518 kW。

核算电压下降: 起动最后一台90 kW异步电动机时瞬间冲击容量为 $(90 / 0.92) \times 7.5 = 734 \text{ kV} \cdot \text{A}$, 依据柴油发电机起动曲线, 建议选用600 kW/750 kV·A容量发电机组, 亦可放大一级选型。

改造后切换测试:

1) 工艺设备人员确认109单元汽轮机冷却完毕, 一拖二机组盘车、油系统设备均已符合测试条件。

2) 对发电机进行检查, 确保发电机无报警、无故障, 油温油压正常, 冷却液及燃油充足。

3) 确认柴油发电机在热备状态, 两套应急电源切换柜在自动位、市电供电状态。

4) 确认109单元EPS在静态旁路供电, 整流回路起动, 逆变回路断开。

5) 确认柴油发电机就地控制面板及远程起动面板均在自动位、停机状态。

6) 将110单元应急电源切换柜控制器ATS022切至手动模式。

7) 确认109单元应急电源切换柜所带电动机回路设备09-M1193、09-M1169、09-M1179和09-M1146在工作位合闸状态, 运行正常; 09-M1198在热备用状态; EPS电源开关在工作位合闸状态。

8) 确认109单元切换柜控制器ATS022在自动位。

9) 断开EPS供电电源开关, 市电主供电电源失电后进入蓄电池供电模式, 整流回路断开, 静态旁路断开, 逆变回路起动, 切换时间大约0.3 s完成。

10) 打开柜门, 拉下市电检测断路器1CB, 检测到市电失电后, 发电机检测市电电源失电后立即自动打火起动, 打火一次起动成功, 大约12 s完成起动过程, 电压达到额定电压, 运行进入平稳状态。此时ATS022控制器自动将CB1 (市电) 断路器分闸, CB2 (应急) 断路器合闸, 切换过程大约1 s完成。

11) 市电电源失电后2 s左右109单元事故油泵09-M1198自动起动, 电动机此时由EPS供电, 起动后运行正常。

12) 在柴油发电机起动平稳时, 109单元应急

电源切换柜的ATS022控制器自动切换完成后，合上EPS电源开关，EPS检测主供电电源来电后恢复静态旁路供电，整流回路起动，逆变回路断开，切换时间大约0.3 s完成，109单元事故油泵09-M1198电动机运行未受影响。

13) 联系工艺将09-M1193、09-M1169、09-M1179和09-M1146电动机起动，全部进入带载运行正常。

14) 继续观察30 min，无异常后联系工艺将负荷按正常停机顺序停机。停机完毕后，合上市电检测断路器1CB，保持发电机电源供电。

15) 手动将柴油发电机停机，发电机运行速度开始减速时ATS022控制器自动将CB2（应急）断路器分闸，CB1（市电）断路器合闸，恢复市电电源供电。

在市电失去后，应急电源切换柜能够及时完成柴油发电机的自起及两路电源的自切，在发电机自

起过程中，EPS由蓄电池逆变供电并完成事故油泵的自起，有效地弥补了柴油发电机起动固有时间长的缺点。通过本次对空分应急柴油发电机的带载实际能力的测试，在供电异常情况下，应急电源综合供电方案能够可靠完成空分装置系统异常情况下的安全操作流程。

结束语

多数煤化工企业对供电可靠性要求越来越高，这种需求与诱因多变且复杂的晃电现象成为不可调和的矛盾对象，通过上述综合性抗晃电方案的应用实施，后期晃电对生产的影响得到了明显改善。既要源头上规避晃电风险，也要因地制宜，针对晃电特点进行专题研究，出台综合性抗晃电治理方案，为企业安全生产提供技术支撑。EA

（收稿日期：2021-12-08）

