

动态电压调节器在化工装置供配电系统中的应用

在化工企业中，聚丙烯装置挤压造粒系统广泛采用自动化生产线、变频器等先进技术，实际应用中变频调速设备如切粒机电机等抗晃电能力差，容易受电网电压波动影响，进而造成挤压造粒系统联锁停车，属敏感负荷。目前，电压跌落是化工企业面临的最主要的电能质量问题之一，针对晃电对变频器等敏感负荷造成的影响，采用串联型动态电压调节器（AVC）供电是解决敏感负荷抗晃电的有效手段之一。生产运行实践证明，通过对变频调速切粒机电机实施该技术改造，这种技术措施能够使变频调速电动机在电网电压波动时仍能保证装置继续正常运行，确保了化工装置生产的连续性，有很好的借鉴推广价值。

王子洋/中国石化股份公司茂名分公司热电分部电气二车间

0 引言

由于电力系统供配电网在运行中受种种因素的影响，如台风和雷电天气、电气设备故障及人为误操作等原因，致使电网电压波动，造成供电系统发生供电网络瞬时失电压，俗称“晃电”。众所周知，化工企业的生产特点为“高温高压、易燃易爆、有毒有害且连续生产”，化工生产装置是一种连续性生产系统，对电力系统供电质量的可靠性提出了严格的要求。当化工装置供电系统出现故障时，只是电网瞬间失电压、短时出现的大幅度电压波动对装置运行也会带来很大的影响^[1]，会引起交流接触器释放、低压电动机停转以及电子软启动器和变频器停机，某些化工装置重新建立起稳定的生产平衡需要较长的时间，一般为1~3天，而且由于物料放空、产品质量下降，一套化工装置因晃电影响至少会造成几十万元的损失，同

时还可能造成压力容器的超温超压、有毒有害物质的泄漏，情况严重时还会引起危害更大的火灾爆炸、人员伤亡等次生事故发生。

随着科学技术的不断进步、电气技术的日趋完备及新型产品的出现，电动机再起动的方法及技术有多种，各有千秋，如综合保护继电器、抗晃电交流接触器、电动机再起启动延时继电器和电动机分批再起启动装置等抗晃电电气设备的应用，能够有效应对晃电现象。车间管辖化工各生产装置电动机共2 903台，经与装置对接可以设置抗晃电措施的电动机1 602台，其中工艺需要且已具有抗晃电功能的电动机1 383台，根据装置生产特点，可以对电动机实施一种或多种抗晃电优化措施。目前，具有抗晃电功能的电动机比率已占86.3%。通过近些年持续抗晃电优化攻关改造，关键机组及重要设备已同时具备了多种抗晃电措施，分部电力系统及电气设备的抗晃电能力已大大增强，1[#]、2[#]裂解装置，空分、六聚装置前工段经受住了如黑格比等多次强台风的考验。

但是，化工六聚装置后工段，以聚丙烯装置为例，挤压造粒线大量使用变频器，而且工艺联锁多，抗晃电能力差，容易受电压波动影响，造成挤压造粒系统联锁停车。特别是变频调速切粒机电机属于聚丙烯后段工艺装置的重要设备，切粒机作用是将原料切成微小的颗粒，在送料和高速切割过程中不允许停机，生产过程中对供电的可靠



王子洋/高级工程师

关键词/Keywords

电压波动 ·
动态电压调节器（AVC） ·
电能质量 ·
变频调速 ·

性、连续性均要求很高。而变频器的抗晃电能力差是由其工作原理或控制原理所决定的,变频器的工作过程包括导通、触发和关断三个过程,当电力系统因晃电导致电压降低时,变频器晶闸管会因同步脉冲丢失或正向电压过低而关断,从而导致变频器低电压跳闸,虽变频器自身也有再起功能,但电网电压发生较深度晃电时,效果不明显。因此,对变频调速切粒机电机等敏感负荷,当电网系统发生晃电时,需要保证其供电的稳定性,力争将装置受晃电的影响降到最低,达到装置连续性安稳生产的目的。

1 晃电导致敏感负荷停机的原因分析

1.1 针对敏感负荷电压暂降的对策治理方法

化工企业外部电网电压波动在电力系统中是客观存在不可避免的,无法彻底防止电压暂降以及减少其对敏感负荷的影响,因此对电压暂降问题采取的措施要从供电部门、用户和用电设备厂商等多方面考虑。对于已投运的敏感负荷电压暂降防治措施宜采取先调查后治理的思路,即先进行深入详实的电能质量评估和生产工艺敏感负荷调查,在充分掌握相关数据的基础上,来分别确立具体的治理方案。为尽可能减少电压暂降事件对装置生产的影响,可从管理和技术上采取以下措施。

1) 检查核对敏感设备等保护装置的电压保护设定值,确保设定值准确有效、保护措施功能投入。

2) 如果变压器和敏感设备电压保护设定值可以调整,则可在确保系统和设备安全的前提下,根据实际情况进行适当调整。

3) 详实地进行电压暂降事件记录,应该记录电压暂降的时间、幅值、持续时间以及造成停机的设备,为进一步采取措施提供数据基础。

4) 在供电网络与用户设备间加装缓解设备。在供电网络与用户设备间加装缓解设备方法较多,对于用户端保护,往往是通过加装补偿装置的方式,如使用不间断电源(UPS)、固态断路

器(SSCB)和动态电压补偿装置等。其中,UPS方式占有很大比重,但是它的维护和运行成本很高,电池损耗引起的电费增加很大,其电池平均每隔数月就要进行一次性能测试,每隔5~6年更换一次蓄电池,而且带来很多环保问题。目前,进行电压暂降防治的措施已从使用UPS向无须电池且动态性能更佳的动态电压补偿装置过渡,如动态电压调节器(AVC)等。

1.2 对变频调速切粒机电机原有抗晃电措施分析

该切粒机电机主要参数:额定功率216 kW,额定转速600 r/min,额定电流415 A,额定电压380 V,由一台ABB公司生产的ACS800变频器驱动。应用变频器的调速系统可以从低频、低速开始启动,加减速时间可以任意设定,易实现电动机系统的节能等特点。因此,变频器广泛应用于传动系统中,但是一般的变频器都具有过电压、失电压和瞬间停电的保护功能。ACS800变频器有整流、中间直流环节、逆变和控制四个部分,简单说由主回路和控制电路组成,变频器的控制电路的核心是一块电压等级为24 V的控制电路板,它的电源取自变频器内部直流回路的开关电源,当电源电压波动时可能造成24 V控制板失电压。基于此,2011年初,将变频器的24 V控制板电源改由UPS供电,显然这只能解决控制电路电源的抗晃电问题。而变频器低电压一般指主回路的中间直流回路低电压,即逆变器输入电压过低,通常在满足设备运行要求的前提下调低“低电压跳闸定值”是变频器抗晃电措施之一,该变频器的中间直流电压为540 V,其内部保护参数“低电压跳闸定值”已设为306 V,是540 V的56.6%,经咨询厂家,这个参数已调至最低。

ACS800变频器自身具有再起功能,在电网电压失电压或停电后,将允许变频器继续工作一个短时间 t_d ,若失电压或停电时间 $t_0 < t_d$,变频器将平稳过渡运行;若失电压或停电时间 $t_0 > t_d$,变频器自我保护停止运行。一般 t_d 都在15~25 ms,这个时间很短,相当于瞬时跳闸,而近年来分部外电力系统遭受晃电一般持续100~500 ms之间,

况且晃电时电压下降幅度有可能更低，在这种情况下变频器即使更改了相关参数照样会因低电压保护动作跳停，这也是切粒机遭受晃电困扰的根本原因。因此，如何为变频调速切粒机电机这样的敏感负荷提供更可靠的电源是解决晃电问题的关键。

2 实施AVC器抗晃电攻关改造的可行性分析

ABB公司近年推出的PCS100 AVC是专门针对电压暂降问题研发设计的，能够保护敏感负载免受电压干扰的影响，是提高设备抗晃电能力的新型产品。

2.1 AVC的结构及原理

AVC的结构图如图1所示。主要由整流桥、电压源逆变器、串联在负载和电源之间的注入变压器和旁路组成。同时，整流器、DSP数字化控制器和显示单元也是动态电压调节装置的核心部件。各组成部分作用如下。

1) 整流桥。给直流侧的储能电容器充电，保证电网欠电压时设备能长期工作。

2) 电压源逆变器。采用三桥臂、IGBT+DIODE组合器件构成，逆变器驱动脉冲采用专用驱动板，并带有互锁、过电流及开路等保护功能。控制系统采用高速数字处理器DSP，该处理器带有可灵活编程的PWM输出，为实现各种对称及不对称补偿控制提供了方便，它是一种“主动式”系统，能够实时监测输入侧电源的电压，并在发生电压暂降或突变情况时，能极快地对其进行校正。

3) 注入变压器。采用串联可降低逆变器直流侧电压等级、将逆变器与电网隔离两方面优点。变压器参数设计与AVC的主电路结构，特别是滤波器的位置、系统参数等有很大关系。

4) 内部旁路系统。在逆变器出现过载等保护时，该旁路系统能够对注入变压器一次侧进行短接，保护设备器件如逆变器的安全，从而释放逆变器的负载量，将直接的市电电源提供到输出

侧，在切换过程中不会中断负载，实现负荷自动无间断地转为旁路运行。

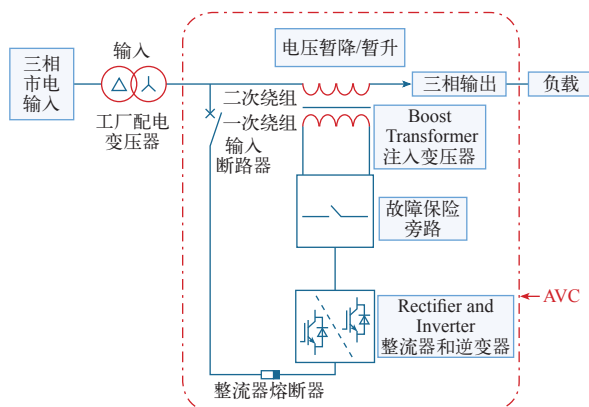


图1 AVC的结构图

图2为AVC电压暂降补偿原理图。工作原理：AVC串联在供电电源和受保护的负载之间，控制电路会持续监测输入端电源电压，一旦发现供电电压偏离额定电压水平，它会计算出指令参考信号通过IGBT逆变器逆变放大，再通过注入变压器迅速注入一个适当的补偿电压，从而消除电网的电压波动和畸变。并且不需要电池、电容等储能元件，因为从电网中吸取所需的额外能量用于提供电压校正。

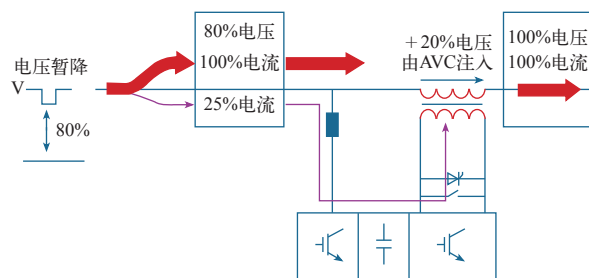


图2 AVC电压暂降补偿原理图

AVC不需要储能元件，因为其能从电网中吸取所需的额外能量用于补偿骤降的电压。AVC会持续监测输入侧电源电压，一旦偏离额定电压水平，会通过IGBT逆变器和串联的注入变压器迅速注入一个适当的补偿电压。AVC应用DSP处理器（数字信号控制），从监测到电压骤降到开始补偿的时间不足0.25 ms，在10 ms（半个周波）之内即可完成整个补偿过程，使被保护的设备完全不受电压骤降的影响。

2.2 AVC的应用特点

1) 属于串联性补偿设备, 可靠性要求高。AVC保护的都是敏感重要负荷, 而且是串联在电源和负荷之间, 所以必须具有极高的可靠性。AVC通过注入式变压器串联在电源和负荷之间, 内置三重故障保险旁路, 当逆变器检测到短时过载、温度过高或设备本身故障时可自动切换至内部旁路供电。当故障状态消失时, AVC能够自动切换到在线补偿状态。内部旁路系统保障了负载永远不会被“甩掉”。

2) 属于大功率电力电子设备, 设备本身损耗要求小。大型电力电子设备本身应尽量减少设备损耗。AVC没有电池等储能元件, 运行效率高达98%~99%, 能耗低。负荷电流的绝大多数通过串联变压器向负荷供电, 整流器和逆变器侧只需要用于补偿电压暂降的能量; 而且, 对于电压设定值的输入电压可以通过逆变器将多余的能量反馈

到电网。

3) 属于现场在线运行设备, 维护工作量要求少。动态电压调节器保护的是重要敏感性负载, 负载重要性高, 而且属于连续生产工艺, 因此, 动态电压调节器应尽可能减少停机时间, 减少维护工作量。动态电压调节装置的整流器后端没有使用传统的电池、超级电容等储能元件, 也没有机械转动部件, 减小了维护费用和工作量。

4) 电压暂降的补偿要求设备应具有优异的响应速度。电压暂降持续时间最短只有10 ms (低于10 ms称为瞬变), 为补偿电压暂降事件和瞬变事件, 动态电压调节器必须有很快的响应时间。AVC从检测到电压变动到开始补偿动作时间仅需0.25 ms, 完成整个补偿过程不超过半个周波(10 ms)。

PCS100 AVC根据补偿能力分为标准型(30%补偿型)和增强型(40%补偿型), 标准型和增强型PCS100 AVC电压补偿能力如下表所示。

表 标准型和增强型PCS100 AVC电压补偿能力参数

标准型AVC (30%补偿型)				增强型AVC (40%补偿型)			
相数	市电 (输入)	负载 (输出)	维持时间/s	相数	市电 (输入)	负载 (输出)	维持时间/s
	电压剩余量(%)	补偿后电压幅度(%)			电压剩余量(%)	补偿后电压幅度(%)	
3	90~110	100	连续	3	90~110	100	连续
3	70	100	30	3	60	100	30
3	60	90	20	3	50	90	10
1*	85~115	100	连续	1*	85~115	100	连续
1*	55	100	30	1*	40	100	30

3 敏感负荷实施AVC改造的整改措施

根据敏感负荷和近几年分部电力系统电压波动情况, 选择了30%校正型的PCS100 AVC, 额定输入和输出电压均是: 400 V, 三相, 50 Hz, 额定输入电流: 547 A, 额定输出电流: 577 A, 额定输出负载: 400 kW·A。

考虑到AVC的额定输出电流为577 A, 切粒机电动机额定电流为451 A, 实际平时正常运行电流约为200 A, 还有较多的容量, 考虑到聚丙烯挤压系统同样重要的负荷还有加料盘, 其供电给挤压线的粉料添加剂单元, 有20台小功率的重要电动

机组, 其中有7台电动机由小功率变频器驱动, 13台由常规接触器控制, 受系统电压波动影响也很大, 在历次晃电时, 都会出现电动机停机进而造成聚丙烯挤压线停车的现象, 经过充分计算和分析, 将聚丙烯挤压配电间的切粒机变频器、加料盘重要电动机电源等敏感负荷由AVC供电, 改造配电接线一次图如图3所示。

虽然AVC技术成熟, 性能可靠, 但也有可能会发生故障, 决定除了装设AVC配出柜外, 在AVC控制柜的旁边增加一个旁路柜, 当AVC出现故障时, 可以切换到维修旁路。正常运行时: QF₁合上, QF₃合上, QF₂分开。切换至维修旁路步

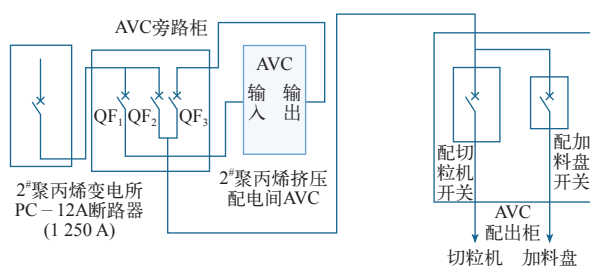


图3 敏感负荷实施AVC改造配电接线一次图

骤：先合上QF₂，再分开QF₃、QF₁。不影响切粒机和加料盘的正常供电。2011年5月，利用聚丙烯挤压系统检修的机会，组织实施了上述改造方案。

4 实施改造后的效果

对聚丙烯装置切粒机变频器和加料盘采用AVC供电改造后，大大提高了敏感负荷的电源质量和抗晃电能力。改造前变频器供电电压正常情况下在400 V±5%范围内波动，抽查4个月分别为：389 V、376 V、410 V和418 V；改造后变频器供电电压稳定在400 V，电源质量有很大提升。

在2011年6月29日16:17:00因分部外电网线路故障引起系统电压波动时，切粒机、加料盘配出电动机以及东芝柜所带的重要机组并没有因晃电而停机，通过AVC事件记录界面显示如图4所示。

从记录中可以看到此次晃电电压暂降持续时间150 ms，补偿前电压波动为：65%（U相），70%（V相），44%（W相）；经过AVC电压补偿后：85%（U相），85%（V相），73%（W相），证明了敏感负荷实施AVC供电后取得了理想的抗晃电效果，同时也验证了遇到这种较深层次晃电时，变频器等敏感负荷仅仅依靠控制电路由UPS供电和低电压保护是不足以保证切粒机的连续运行。

2011年至今共减少聚丙烯装置挤压造粒停

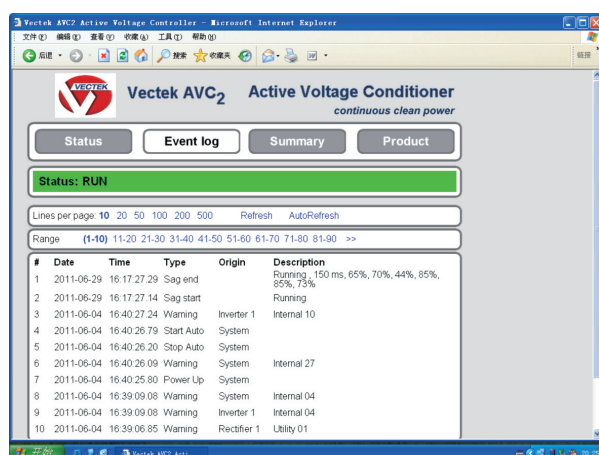


图4 2011年6月29日16:17:00晃电时AVC事件记录数据

车3次，每停车1次，放空约50 t，将产生过渡料5 t，过渡料比正常料便宜300元/t。每次从停车维护到开车需要处理3 h，聚丙烯的产量为40 t/h，共减产(3×50+3×3×40) t=510 t，最近一年每吨产品损失利润355.6元，共节约损失0.036×510+3×5×0.03=18.58万元。

5 结束语

针对变频调速重要设备等敏感负荷抗晃电能力较差的问题，采用了在敏感主回路串接AVC的方案并投入运行，通过技术改造，取得了良好的治理和补偿效果。实例证明聚丙烯挤压系统重要设备抗晃电性能显著提高，对化工主体生产装置安稳长运行和经济效益发挥了重要的作用，对聚丙烯或其他类似装置挤压造粒系统重要设备敏感负荷抗晃电改造有很好的借鉴作用。

参考文献

- [1] 张子富. 化工企业连续供电方式的实现 [J]. 电气应用, 2006, 25 (6).

(收稿日期: 2015-12-20) **EA**

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告