

低电压穿越技术在石化热电厂的应用

介绍了大庆石化公司热电厂变频控制的锅炉给粉机在系统电压跌落时存在的问题以及对运行锅炉和化工装置产生的影响，通过对低电压穿越原理进行简要说明，提出了对上述问题的解决方案，通过各项静态与动态试验和投产试运行，分析低电压穿越技术应用的必要性。

王 昌/大庆石化分公司热电厂



王 昌/工程师

低电压穿越的概念最早来源于风力发电，特指风力发电机并网点发生一定幅度、时间范围内的电压跌落时，风机机组维持运行不脱网，支持电网恢复，直到电网恢复正常。随着电力电子技术的发展，变频器以其调速准确、使用简单和保护功能齐全等优点逐步代替传统的调速控制装置而在电厂给粉机上得到广泛应用，但由于电网电压不稳定，导致变频器在使用中产生了新的问题——低压保护跳闸。这种跳闸会因为变频器的保护设置不同而表现为过电流保护或低压保护，但其原因都是因为电网低电压引起的。低电压通常都是短时的，主要是因为电网晃电或备用电源自动投入装置切换时间过长。引起电网晃电的原因很多，如主电网侧的电网波动、负荷不平衡、雷击、电源切换，负载侧的大型设备启动和线路过载等原因。大庆石化公司热电厂现有额定蒸发量为410 t/h的锅炉6台，所产蒸汽一方面为汽轮机提供动力源，另一方面为化工、化肥等生产装置使用，主汽系统采用母管制，主汽系统波动会对机组、化工装置生产产生很大影响。锅炉给粉机采用变频调速控制，变频器在遇到厂用电电压瞬时低于变频器的低电压保护值（根据变频器的

型号不同该值也不同）时低压保护动作，导致给粉机停机，同时会给FSSS（锅炉安全监控系统）发出给粉机停止信号，这样会导致FSSS的MFT（灭火保护）动作，这6台锅炉在厂用电停电切换或系统晃电的情况下，都分别出现过给粉机全停导致锅炉停炉的事故，给机组和化工装置生产造成巨大的损失。

变频器拖动系统停机分析

大庆石化热电厂锅炉给粉机现场系统示意如图1所示。每台锅炉有12台给粉机，采用集中式摆放，每6台变频器摆放在一个盘柜内，给粉机的控制柜、电动机和变频器就近集中摆放。

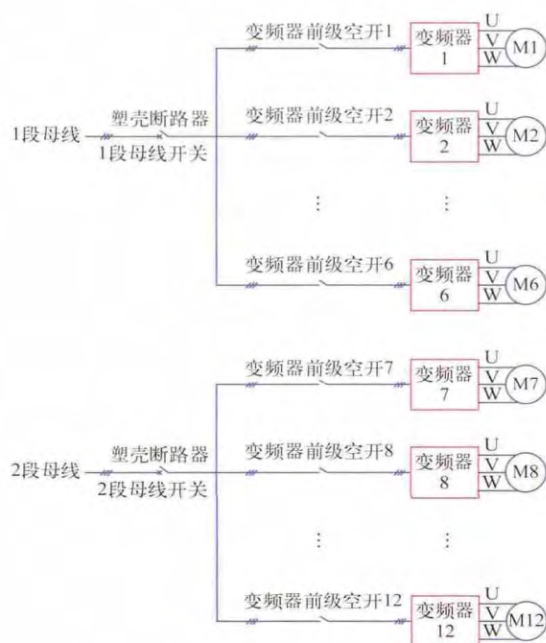


图1 现场系统示意

变频器拖动系统由变频器、拖动电动机和控制箱组成。各种故障造成的电网电压跌落，会导致变频器拖动系统停

关键词/Keywords

石化·
热电厂·
锅炉·
变频控制·
低电压穿越·

止运行，进而造成非计划停炉事故。

分析变频器拖动系统停机的过程，有两个原因可诱发此问题：变频器动力电源和控制电源。

1) 直流动力电源跌落会造成变频器停机。变频器的功率回路均由整流模块、直流环节和逆变模块组成，如图2所示。

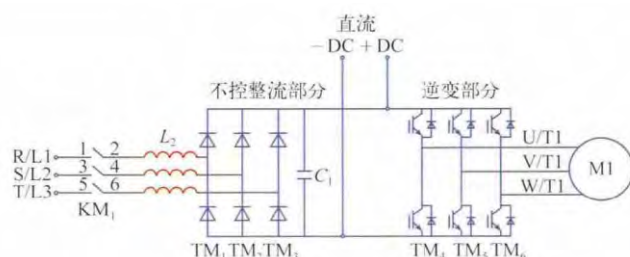


图2 变频器结构示意图

变频器的进电端子（R/L1，S/L2，T/L3），经不控整流（TM₁，TM₂，TM₃）到直流DC，再经过逆变（TM₄，TM₅，TM₆）到（U/T1，V/T2，W/T3）交流，实现频率变换。当低电压发生时，（R/L1，S/L2，T/L3）电压变低，直流母线电压随之降低，无法提供逆变模块所需要的能量，触

发变频器保护。

2) 控制电源掉电也会造成变频器系统的停运。在变频器拖动系统中，变频器并非独立运行，有相应的控制电路板、采样反馈系统、继电器和接触器与其配合工作，这些部件均需稳定的控制电源供电。电网发生低电压故障时，控制电源也会发生跌落，进而造成控制系统与继电器系统的瘫痪，变频器同样无法正常运行，拖动系统停运。

变频器低电压穿越装置的原理

为满足工业现场对变频器低电压穿越的实际需求，一种可靠、灵敏的变频器低电压穿越电源装置应运而生，通过其在系统低电压故障期间的有效动作，保障变频器拖动系统的连续稳定运行，进而确保机组及化工装置的安全生产和稳定运行。

1. 变频器低电压穿越电源装置构成

变频器低电压穿越电源拓扑如图3所示。

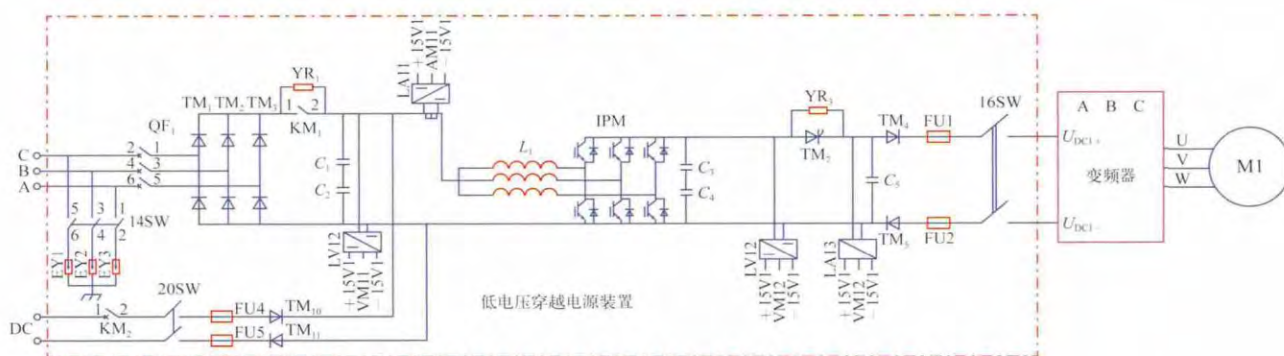


图3 系统拓扑示意图

该装置的主功率输入为系统三相交流电源和直流保安电源，主功率输出为直流电源。变频器由两路电源为其供电：一路为原有交流供电通路，将三相交流电直接送入变频器A/B/C三相交流输入端子；另一路为直流供电通路，三相交流电经手动断路器QF₁送入二极管整流桥TM₁~TM₃构成的整流回路，再经过电控开关KM₁变换为直流电能并储存于电容C₁和C₂。电感L₁与IGBT构成BOOST型式的升压斩波电路，可将C₁/C₂上的直流电能变换为电压等级更高的直流电能储存于电容C₃/C₄，并经二极管防反回路和熔断器后，送入变频器的直流输入

端子。电动开关KM₁与电阻YR₁构成预充电回路，当预充电结束之后闭合KM₁，实现在装置初始上电时为电容C₁/C₂/C₃/C₄的平稳充电功能。

由老厂直流系统馈出的直流保安电源并联于C₁/C₂的直流母线处，当系统电压低于20%时，由保安电源为后续升压回路供电，从而保证装置在0~100%的全电压范围内均可保证变频器的稳定运行。

2. 变频器低电压穿越电源工作原理

变频器低电压穿越电源装置的控制目标为在系统电压跌落时保证变频器及其拖动电动机系统的转速、功率和转矩不变。

其工作原理：装置挂网运行时，断路器 QF_1 与电动开关 KM_1 均处于闭合状态。在系统电压正常的状态下，电能通过交流送电回路送入变频器交流输入端子，装置中的电力电子元件均处于旁路状态，不参与装置运行。在系统电压发生跌落，进而造成 C_1/C_2 上整流得到的直流电压跌落时，装置内置的控制系统实时监测到此电压跌落趋势，将电感 L_1 与IGBT构成的BOOST斩波升压回路快速投入运行，保证在A/B/C三相电压跌落期间， C_3/C_4 上的直流电压被举高，维持到可保证变频器输出功率、电动机转矩、电动机转速均不变的电压水平。在系统电压跌落结束，系统电压恢复正常后，IGBT停止运行，BOOST回路退出工作状态，变频器的供电仍由三相交流送电回路提供。装置中，交流送电通道与直流送电通道的切换由电力电子器件（IGBT）完成，切换动作时间小于 $1\ \mu s$ ，为无缝切换，对变频器的稳定运行不会造成冲击。

低电压穿越技术应用方案的制定

根据大庆石化热电厂的实际情况，采用1拖6的配置方式，每台锅炉配置两套低电压穿越装置，直流保安电源输入取自原有直流电源，以省去蓄电池等元件的费用及维护量。根据现场应用需要，在技术应用方案制定中采取两部分措施，下面仅以一台锅炉为例进行说明。

1. 直流动力电源改造

在变频器直流母线上，加设大功率变频器低电压穿越电源装置。维持原有变频器AC 380 V供电线路不变，为变频器低电压穿越电源装置单独引入AC 380 V的交流动力电源，并在前级配置独立塑壳断路器。将变频器低电压穿越电源装置的直流输出，接入变频器的直流母线。线路连接如图4所示，图4中红色部分为工程接线部分，蓝色部分为原线路予以保留。

由于现场配电柜与变频器柜并排摆放，单独为低电压穿越装置设置的AC 380 V线路并配置低电压穿越装置进线开关是最经济、工程量最小的方案。改造过程中，保证低电压穿越装置的电源与所带6台变频器在同一母线段上。

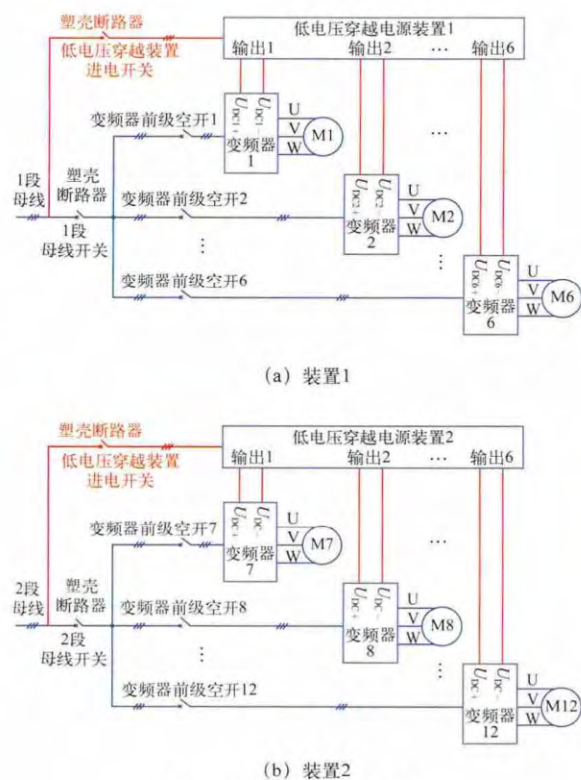


图4 动力电源改造示意图

2. 控制电源改造

将厂内备用UPS电源引入变频器控制柜，为控制柜中的控制器、接触器和继电器等元件提供控制电源。线路连接如图5所示。

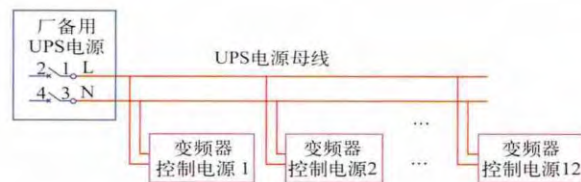


图5 控制电源改造示意图

低电压穿越装置系统调试和应用实践

模拟给粉变频器和低电压穿越系统同时失电试验，系统和变频器三相交流输入断电，由蓄电池供电。分别进行单台变频器失电试验和多台变频器同时失电试验。

1. 单台失电试验

1) 同时断开系统交流进线电源开关和变频器三相交流电源开关，变频器工作正常，输出频率、转速在2%幅度变化，符合规范对频率和电压的要求。

2) 在系统交流进线电源开关增加变压器，模

拟低电压穿越现象,分别在 $20\%U_e$ (AC 76 V)、 $40\%U_e$ (AC 152 V) 时,变频器工作正常,输出频率、转速分别在3%和2%幅度内变化,符合规范对频率和电压的要求。

2. 多台变频器同时失电试验

1) 同时断开系统交流进线电源开关及多台变频器三相交流进线电源开关,全部变频器工作正常,输出频率、转速在2%幅度变化,符合规范对频率和电压的要求。

2) 在系统交流进线电源开关增加变压器,模拟低电压穿越现象,在 $20\%U_e$ (AC 76 V)、 $40\%U_e$ (AC 152 V) 时全部变频器工作正常,输出频率、转速在2%幅度变化,符合规范对频率和电压的要求。

低电压穿越装置在石化公司热电厂投入使用以后,2[#]、5[#]锅炉先后经历了工作段电源失电,备用电源成功联运事件,在此过程中,低电压穿越装置的应用保证了2台锅炉给粉机的运行,未造成断粉停炉事件,通过了实践的检验。

低电压穿越电源装置特点

通过低电压穿越电源装置近两年时间的运行经验,结合各类运行方式和故障时刻表现,总结出低电压穿越电源装置有如下特点。

1) 较高的安全可靠性。保留原有送电线路或设置旁路开关作为旁路电路,在系统电压正常的情况下,装置工作于旁路模式,变频器由系统直接供电,电源变换模块部分处于休眠状态,不参与装置运行。由此降低装置中电力电子元器件投入使用的工作时间,从而降低故障概率。

2) 高效的定期自检与故障自诊断,免维护应用。装置采用免维护设计,其使用过程中无须工作人员对其进行任何操作和维护。该装置集成定期自检功能,对于自检中发现的问题,具备强大的故障自诊断功能,并可将故障诊断结果通过硬接点、通信等多种方式上送至后台管理系统,方便故障的统计与记录。

3) 宽温度范围,高质量寿命。核心部件为目前世界上最先进的第五代IGBT,其结温耐受能力达

到150℃以上。装置整机的稳定运行温度范围可达到 $-20\text{℃}\sim 55\text{℃}$,可实现各种恶劣工况下的运行。

4) 定制化产品,接线简单,界面友好,易于操作,接线方式非常简单,基本配置中仅包含交流动力电缆、直流动力电缆与二次硬接点端口。同时,依据现场需要,可扩展以太网、CAN网和485等多种通信方式与后台连接。

5) 分布式供电解决方案,提高系统整体可利用效率。可以为每台变频器配备独立的装置,任意1台变频器的故障均不会影响其他变频器系统的安全运行,提高了系统整体的可利用效率与可靠性。同时在安装方式上,装置与变频器就近安装,最大限度地缩短了电缆连接线的长度,极大地降低了连接线路短路风险。

结束语

随着石化公司120万t/年乙烯、1 000万t/年炼油项目的顺利投产,对负责化工装置供电供汽热电厂的可靠稳定运行提出了更高的要求。对热电厂锅炉给粉机变频器加装低电压穿越装置后,给粉机变频器及其拖动系统可实现在电力系统发生短时电压跌落或电源切换失电瞬间,输出转矩、转速和功率等各项技术参数均不变,进而保证低电压过程中,锅炉炉膛各项指标稳定,实现锅炉的稳定运行,避免低电压造成的非计划停炉或关键设备的损坏,提高电厂整体发电供汽的安全性,能够为化工装置提供可靠的电能和热能,具有较高的应用价值。

参考文献

- [1] 耿华,等. 新能源并网发电系统的低电压穿越[M]. 北京:机械工业出版社,2014.
- [2] 王晓芳. 电力电子技术及应用[M]. 北京:电子工业出版社,2013.
- [3] 吕汀,石红梅. 变频技术原理及应用[M]. 2版. 北京:北京大学出版社,2013.
- [4] 查丽斌. 模拟电子技术[M]. 北京:电子工业出版社,2013.

(收稿日期:2014-07-11) EA