

电压暂降对变频器控制回路影响及一种有效改进措施

李占勇

(南京金陵石化工程设计有限公司, 江苏 南京 210042)

摘要: 在石油化工装置中, 不论是工艺设备需求还是出于节能目的, 变频器都在大量使用。变频器因电压暂降而造成设备停机或装置停车现象时有发生, 这给企业造成很大经济损失。通过介绍电压暂降概念及其危害, 结合电压暂降造成变频器停机的实例, 分析变频器停机的原因——低电压。根据变频器的电压判据, 提出为其直流母排增设直流电源支撑的解决方案。经改造后设备运行稳定, 再未出现因电压暂降而停机的现象, 是一种经济有效的解决方案, 对该类工程有一定借鉴意义。

关键词: 电压暂降; 变频器; 直流支撑

The effect of voltage drop on inverter control circuit and an effective improvement measure

LI Zhan yong

(Nanjing Jinling Petrochemical Engineering Co., Ltd., Nanjing 210042, China)

Abstract: In petrochemical plants, frequency converters are widely used for both process equipment requirements and energy saving purposes. Frequency converter causes equipment shutdown or device shutdown due to voltage sag, which causes great economic losses to enterprises. By introducing the concept of voltage sag and its harmfulness, combining with the example of frequency converter shutdown caused by voltage sag, the cause of frequency converter shutdown – low voltage is analysed. According to the voltage criterion of frequency converter, the solution of adding DC power supply support to its DC bus is put forward. After modification, the equipment runs steadily without any shutdown phenomenon caused by voltage sag. It is an economical and effective solution, which can be used for reference in such projects.

Key words: voltage sag; frequency converter; DC-BANK

0 引言

电压暂降是指电力系统中某点工频电压均方根值突然降低至0.1~0.9倍标称电压, 并在短暂持续10 ms~1 min后恢复正常的现象。电压暂降造成的损失与暂降幅值、持续时间及暂降频次有关, 可导致电子控制器异常工作、生产过程中断、服务器瘫痪及用户

数据丢失和出错。据统计, 在欧美国家, 由电压暂降引起的用户投诉占整个电能质量问题投诉数量的80%以上, 电压暂降已成为信息设备最重要的电能质量问题。造成电压暂降的原因很多, 如输配电线路发生短路故障、雷击、开关操作、变压器及电容器组投切和异步电动机起动等。其中短路故障、异

步电动机起动及雷击是引起电压暂降的最主要原因，也是目前电力系统无法完全避免的事实^[1]。

对于石油炼化企业，其装置大部分属于连续性生产装置，不同装置间存在原料或产品供给联系，而供电系统电压暂降往往会使装置关键部位机泵停机，造成生产过程紊乱，进而导致整个装置停车，给企业造成重大经济损失。其特殊的性质对生产供电可靠性提出了要求，在生产过程中应尽量避免重要设备因为供电原因而非计划停机，因此对变频器控制回路防电压暂降停机研究非常重要。

1 变频器控制现状

1.1 电压暂降对装置的影响

在石油化工装置中，电子电力设备大量应用，如可编程序逻辑控制器(PLC)、变频器和离散控制系统(DCS)等，这些元器件对电压暂降的敏感不尽相同，一旦某个元器件

因电压暂降而停止工作，整套设备及生产流程就会受到影响^[2]。

中石化金陵分公司化工一部水煤浆空分装置是金陵公司煤代油改造的第一道工序，也是水煤浆装置的第一道工序，其主要产品为氧和氮。从装置开车以来，已经发生几次因雷击而造成供电系统电压暂降现象，使空分装置氧泵变频器停机，从而导致气化炉停车，并最终导致整个水煤浆装置停车现象，造成巨大经济损失。

1.2 氧泵电气控制原理

空分氧泵电动机采用变频控制，基本控制原理如图1所示。回路一次元器件由断路器(QF)、交流接触器(KM)和变频器(UMV3301+ACL)组成，正常断路器一直闭合，通过控制交流接触器的导通与断开来实现变频器是否带电。电动机开停过程如下：变频器开停端子一直短接(端子P15)，因此变频器只要一带电即工作。开机时控制

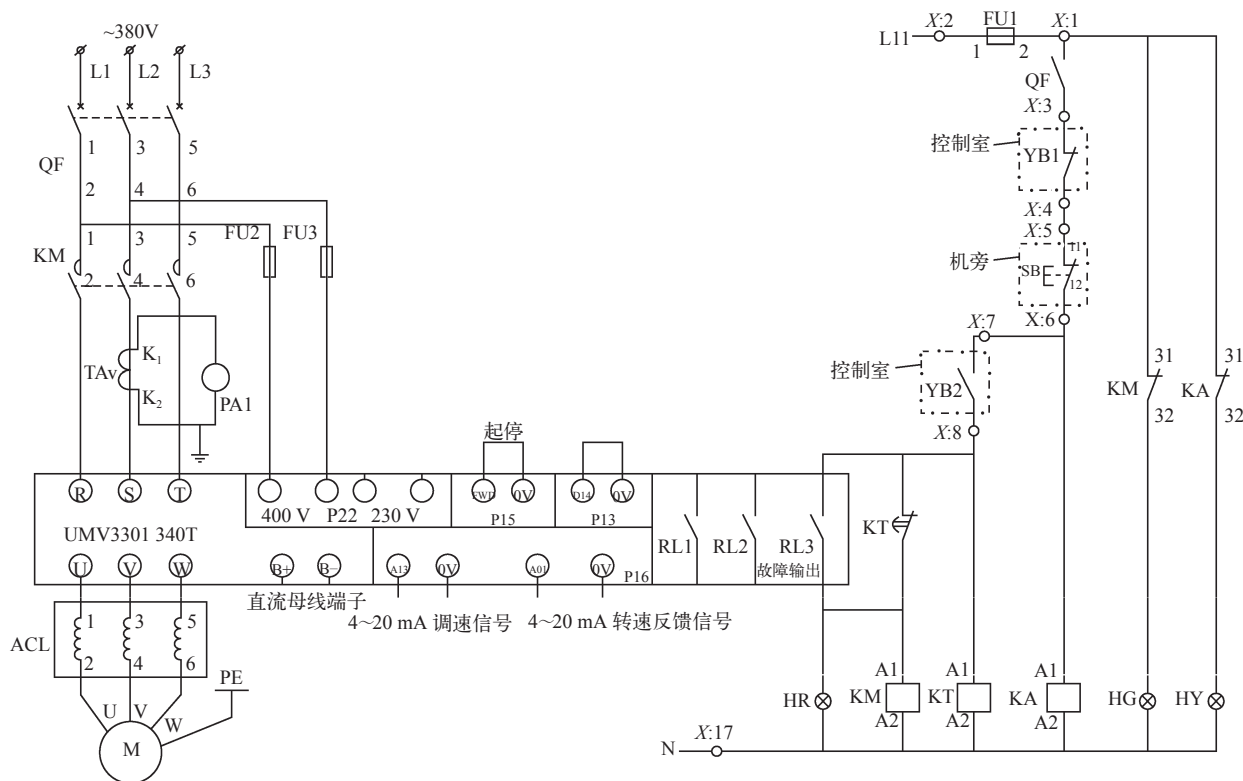


图1 变频器控制外部接线示意图

Fig. 1 External wiring diagram of frequency converter control

室DCS (YB2) 信号闭合, 交流接触器线圈得电, 主触头吸合, 变频器得电工作, 电动机起动; 停机时, 机旁按钮SB、控制室DCS信号YB1和变频器故障信号三个信号中, 任意一个信号打开, 交流接触器线圈就失电, 主触头打开, 变频器失电, 电动机停机。

1.3 电动机及变频器主要参数

氧泵电动机 (P03A/B): 规格型号为FN355L-2; 功率为295 kW; 电压等级为380 V; 生产商为AHK。

变频器: 规格型号为UMV3301 340T; 功率为315 kW; 电压等级为380 V; 生产商为法国利莱森玛公司。

1.4 氧泵停机原因分析

在电网电压暂降过程中, 每次氧泵停机, 从仪表DCS记录看大多是出口压力低所致, 现场检查电动机一切正常。查变频器故障显示, 先是直流母线低电压停机, 而后是过电流停机。以2008年11月7日氧泵停机为例, 从仪表DCS记录看, 氧泵电动机交流接触器曾通断3次, 但都未能起动成功。查看变频器参数及故障记录为: 允许自起动3次, 停车的最后原因为过电流故障。

(1) 停机原因 (系统电压暂降)

变频器电压暂降跳闸一般是因低电压导致控制回路失电或变频器中间直流回路低电压 (即逆变器输入电压过低) 引起^[3]。

当输配电线路遭受雷击时, 供电系统出现电压暂降, 导致氧泵电源回路交流接触器脱开, 变频器失电, 低电压停机。

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。变频器的逆变器件为GTR时, 一旦失电压或停电, 控制电路将停止向驱动电路输出信号, 使驱动电路和GTR全部停止工作, 电动机将处于自由制动状态。逆变器件为IGBT时, 在失电压或停电后, 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 $t_o < t_d$, 变频器将平稳过渡

运行; 若失电压或停电时间 $t_o > t_d$, 变频器自我保护停止运行。一般 t_d 都在15~25 ms之间, 只要电压暂降较为强烈, t_o 都会超过25 ms, 变频器自我保护停止运行, 同时使电动机停止运行^[4]。

(2) 自起动失败原因

本变频器设有3次自起动功能, 但未能成功, 都因过电流再次停机。

分析变频器过电流故障的原因, 其中之一为失速。变频器起动加速时间设定太短, 变频器输出频率的变化远远超过电动机转速的变化 (失速); V/F特性电压提升太大, 变频器输出频率已经很高, 额定电动机转速还很低 (电动机转速的变化滞后于变频器频率变化), 也会造成失速。

而氧泵电动机遭受电压暂降而低电压停机后, 机泵带负载转速快速降为0, 由于为非计划停机, 管线上阀门为开启状态, 介质回流, 从而导致机泵倒转, 此时自起动, 相当于重载起动, 由于负载过重造成电动机起动时间过长。同时自起动时仪表给定转速信号为20 mA, 相当于额定转速起动, 形成失速, 从而过电流停机。

这与仪表DCS记录是吻合的, 氧泵电动机因电压暂降停机时, 电动机转速为0或是倒转状态, 而仪表DCS输出转速信号仍为20 mA (对应最高转速2 980 r/min), 这就要求电动机要从负转速直接提升至2 980 r/min, 造成过电流停机, 自起动失败。

根据金陵分公司初步统计, 变频器自起动成功率低于50%。像氧泵、塔底泵、鼓风机和引风机之类变频器自起动成功率极低, 大多因过电流及过电压再次停机。因此仅依靠变频器自起动功能来应对电压暂降是不可靠的, 需从根源上解决失电压问题。

2 改造方案

2.1 解决交流接触器失电压

交流接触器工作电压范围为0.8~1.1倍额

定电压，释放电压为0.3~0.6倍额定电压。当电压暂降时，只要电压低于0.6倍额定电压，交流接触器即有可能脱扣，这将造成变频器失电。现氧泵控制回路电源取自市电，需改造为不间断电源（UPS），这样保证交流接触器不会因电压暂降而动作，只要不是人为操作或变频器本体故障，变频器则一直带电。

2.2 解决变频器失电压

(1) 变频器控制电源改造

变频器控制电源由变频器380 V电源输入端引接，为防止电压暂降造成变频器停止工作，将变频器控制电源改造为UPS电源，使变频器控制电源不受外部电压影响。

(2) 变频器增设直流支撑

常用的变频器都是交—直—交的电压源型变频器，其中间直流回路是三相交流电整流得到的，电压在510~620 V之间。由于变频器电压检测信号取自中间直流回路（即逆变器输入），只要保证在电压暂降过程中给变频器中间直流回路提供一路510~620 V的直流电源，就能实现变频器不间断运行，因此需引入直流电源支撑技术。电压暂降时依靠直流电源支撑装置蓄电池为变频器提供稳定直流电源，保证变频器输出电压不变，达到氧泵电动机不停机目的，系统支撑时间按45 s设计。

查变频器样本资料，变频器直流母线有独立的支流接线端子（+B、-B），如图2所示^[5]。中间直流回路电压值为510~620 V，如图3所示。

由此可见，变频器具备增设直流支撑的条件（根据统计绝大多数变频器均具备该条件）。

3 直流支撑系统

3.1 系统组成

直流支撑系统主要由直流电源系统及控制系统组成，其中直流电源系统包括储能单

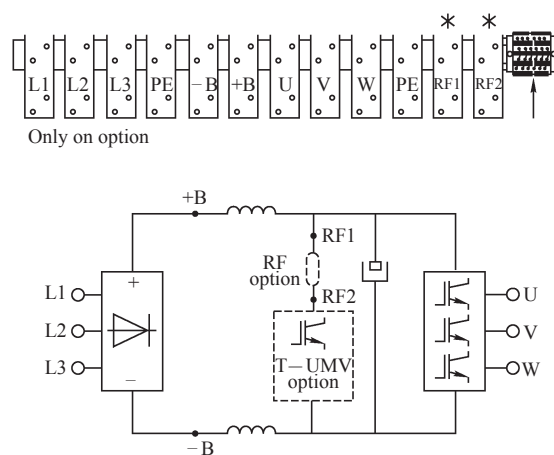


图2 变频器接线端子图

Fig. 2 Wiring terminal diagram of frequency converter

Label	Function
L1 - L2 - L3	3-phase controller supply
PE	Earthing the controller and motor
+B, -B	Supplying the controller via the D.C. bus • 510V to 620V $\pm 10\%$ for 270T to 600T • 740V to 980V $\pm 10\%$ for 400TH to 700TH (see § 3.2.5.3 for warnings)
U - V - W	Connecting the motor
RF1 - RF2 *	Connecting the RF braking resistors via a thermal relay

图3 变频器接线端子说明

Fig. 3 Frequency converter terminal description

元（免维护阀控式全密封铅酸电池）、充电器、RTM切换控制单元、DGPS母线接地保护器及监测单元；控制系统包括检测、控制和执行单元三部分。控制系统是直流支撑的主控系统，也是与变频器联锁的控制部分，负责监测各种交直流电源信号、保护动作信号，控制电压暂降系统的备份、投运和退出过程。

3.2 工作原理

直流支撑系统基本控制逻辑如图4所示，系统如图5所示。该装置控制系统可实现在线跟踪和电压自动监控，在保证主电源电压失电且变频器无故障的情况下，系统瞬时切换到电池供电，使变频器输出频率没有变化。当电网供电正常时，直流支撑系统执行单元的输出直流接触器处于关断状态，切断电池组与变频器的通路，直流支撑系统通过整流设备对蓄电池进行浮充电，装置储能；当变

变频器交流电源低于变频器低压保护值时，控制单元立即发出信号，直流接触器导通，实现变频器由交流供电到由电池组供电的瞬时转换，转换时间小于 $200\ \mu\text{s}$ 。当变频器电源供电恢复时，其直流环节的电压会立刻上升，DC-BANK执行单元撤出对变频器的供电，变频器转为交流电源供电，一次电压暂降保护动作过程结束。

3.3 系统调试

为了保证系统可靠运行，现场调试时结合实际情况对变频器参数进行了如下调整：

① 自启动次数由3次调整为1次；② 市电欠电压门限由300 V调整至最低值250 V；③ 失电报警时间由2 s修改为5 s。对直流支撑系统

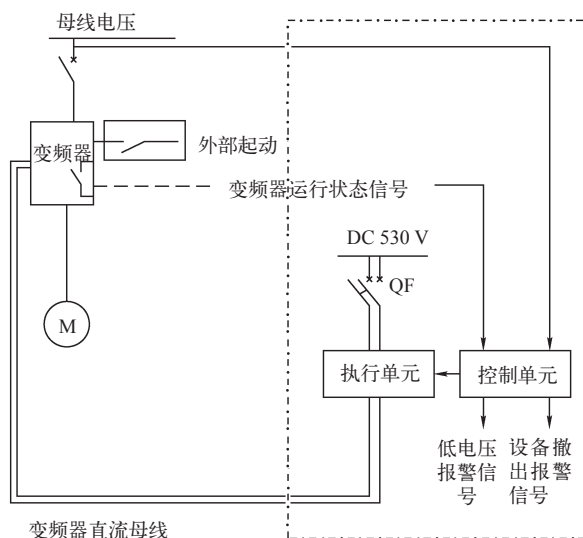


图4 直流支撑系统逻辑控制

Fig. 4 Logic control of DC support system

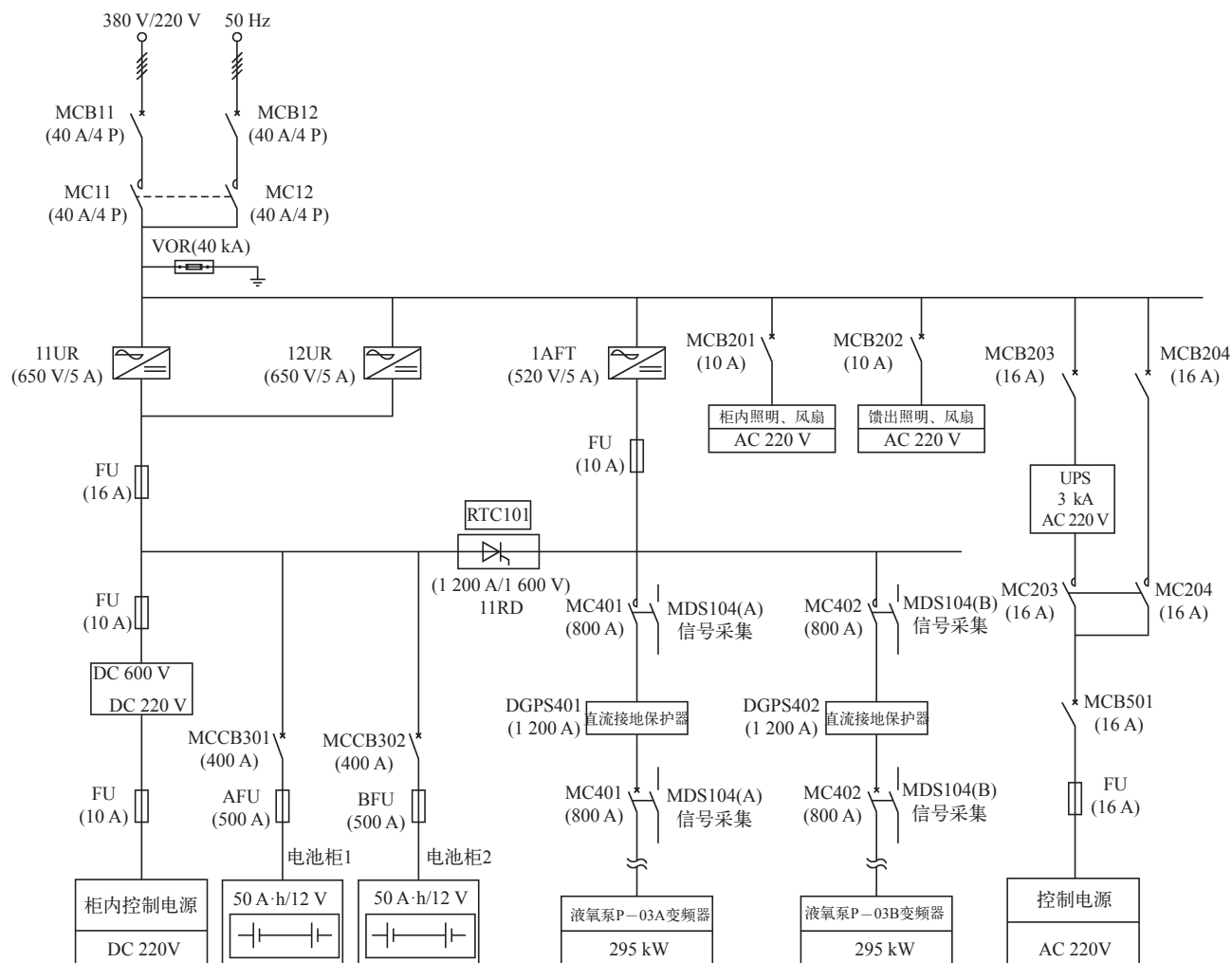


图5 直流支撑系统

Fig. 5 DC support system

与变频器及接触器的时间配合进行了多次实验调整,保证了直流支撑系统准确可靠投入与退出。变频器运行信号送至支撑系统并延时5 s,确保变频器运行正常后直流支撑系统才投入工作;变频器故障信号送至直流支撑系统,确保变频器故障直流支撑系统立即退出;交流接触器信号送至直流支撑系统,保证正常停机时,直流支撑系统不投入。

3.4 系统安全性

1) 直流支撑系统与变频器组成的电动机不停电系统具有可靠的系统安全性。该供电系统与变频器为分布式结构,其应用后完全不影响原有变频器的使用方式及性能。在母线电压正常时,该系统仅作为后备电源。此时直流支撑系统的退出和投入不会对原变频器产生任何影响。

2) 两台氧泵变频器同时接入一套系统,无环流,互相无干扰。该系统与变频器之间有非常可靠的隔离保护设计,当一台变频器出现故障时,不会影响其他变频器正常运行。

3) 在检测维修时,每回路直流支撑系统均可单独与母线分离,以便于维修。

4) 检测单元上备有保护变频器母线电压暂降、失电和充电实时记录,可事后在检测单元上查询记录准确度^[6]。

4 结束语

2011年3月在水煤浆装置大修期间,水煤浆氧泵变频器增加并投用了直流支撑系统,设备运行至今非常稳定,未发生因系统电压暂降而引起变频器停机现象。2012年公司又对两台液氮泵增加了直流支撑改造,同样稳定运行至今。以2014年5月15日晚为例,由于雷电引起系统电压暂降,装置现场不少设备停机,而核心设备氧泵及液氮泵运行正常,从仪表DCS查看,当时电流有短暂上升(为直流支撑系统投入的正常现象),同时收到直流支撑系统动作信号。现场查看直流

支撑系统动作记录,确实投入工作,结束退出后,蓄电池处于充电状态,两者吻合。

实际应用表明,对变频器增加直流支撑系统来应对电压暂降达到了预期效果。该方法同样适用于电压短时中断情况(电压短时中断是指电力系统中某点工频电压方均根值突然降低至0.1倍标称电压以下,并在短暂持续10 ms~1 min后恢复正常的现象)。在即将实施的《石油化工企业供配电系统自动装置设计规范》中,已将增设直流支撑系统收录为应对低电压穿越的一种方法,由此可见此方法是安全、可靠的,值得推荐。

参考文献

- [1] 中国航空规划设计研究总院有限公司. 工业与民用配电设计手册[M]. 4版. 北京: 中国电力出版社, 2017.
- [2] 陈晓华. 电网电压暂降对用电客户的影响及对策[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(3): 67-68.
- [3] 周道军. 变频器防低电压穿越分析[J]. 江苏电机工程, 2015, 34(2): 37-40.
- [4] 黄卓林. 防晃电技术及其在钢铁企业自备电厂的应用[J]. 电工技术, 2007(4): 72-74.
- [5] UMW3301开路或闭路通量矢量控制器说明书[Z]. 法国利莱森玛公司.
- [6] 直流支撑系统说明书[Z]. 南京国臣直流配电科技有限公司.

作者简介



李占勇

李占勇(1981-),男,本科,工程师,从事供配电设计工作。

(收稿日期: 2019-07-16) **EA**