

[变频器]

低压变频器变频故障自动切换工频的研究与应用

文/张银东 高超 崔健 赵亚东 鹿永丽
中国石油锦州石化公司仪电车间

基于低压变频器的故障统计，分析引起变频器故障有哪些因素，说明公司解决变频器故障遇到瓶颈，提出“变频故障自动切换工频”这一处理变频器故障的新思路，介绍实现低压变频器变频故障自动切换工频面临的困难及解决方案，设计变频故障自动切换工频的二次原理图，并进行分析优化。最后，说明低压变频器切换的应用前景。

目前，可实现变频器变频故障自动切换至工频的技术较多，不同型号变频器的控制图样种类繁多，因此实现变频故障自动切换工频的技术较成熟，但多数图样只有故障后自动切换至工频，无外部故障闭锁功能。在各化工企业内，低压变频器变频/工频自动切换技术则应用较少，个别企业应用于空冷风机类负载。主要原因有：①变频器切换后，电动机全速运行，在化工企业对压力及流量控制较严格的装置无法及时响应，会引起装置连续波动；②故障点可能位于负载端，在无法将故障及时有效的排查情况下，直接切换，在故障点二次合闸，可能造成事故扩大化。空冷电动机变频切换至工频，转速提高对生产影响较小，电动机容量小（一般小于37 kW），切换到故障点后也可迅速跳闸，对电力系统影响较小。因此，在各企业实现变频故障自动切换工频的变频器仅在拖动空冷负载的变频器得到一些应用。

截止到2021年12月，公司在用低压变频器有576台，其中施耐德品牌共有526台，占维护总量的91%。施耐德品牌主要集中在两个型号：Altivar61及Altivar630。Altivar61自2009年开始应用以来，连续运行12年，现有多达30台变频器达到使用寿命，公司通过增加直流电抗器、更换主机风扇、安

装空调强制通风、配置输出电抗器和更换柜顶风扇等一系列措施使得自2018年以来变频器故障率维持较低水平，但在2021年变频器故障有升高趋势，其中变频器主机故障占故障总数的62%。

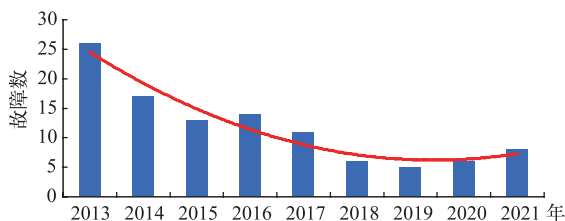


图1 变频器各年故障趋势图

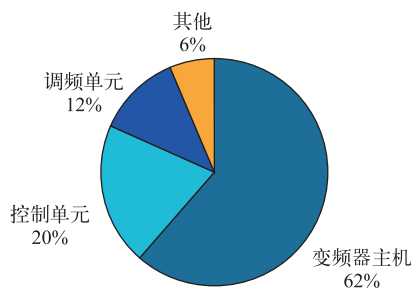


图2 变频器故障分类

成果实施背景

根据公司历年变频器故障进行统计分析，实

现了一套具有公司特色并极具针对性的检修策略。变频器加装直流电抗器占变频器主机采购费用的32%，更换主机风扇占变频器主机采购费用的13%，两项措施虽可延长变频器使用寿命、提高变频器工作的可靠性，但需投入成本较高，与公司节能降本增效的管理大方向背道而驰。另外，变频器加装直流电抗器及更换主机风扇后，虽使变频器故障率明显降低，但偶发性故障在所难免。

公司维护的低压变频器按运行时间统计，达到使用寿命的变频器有30台，占变频器使用总数的6.25%，有7台为A类设备，故障后会造成装置严重波动。有12台为各装置鼓引风机，停机后会对装置造成严重影响。

2021年低压变频器共发生8起故障，全部为变频器主机故障，变频器故障率为1.4%，与同行业变频器运行情况相比，公司维护的变频器故障率较低，位于集团公司上游水平，进一步降低故障率的空间较小，且采取措施需投入的费用较大，效果甚微。

由于变频器主机为高度集成一体化设备，内部故障无法维修，内部元器件发生故障需整机更换，而购买变频器主机费用较高。在公司节能降耗降本增效的大背景下，在有限的备件下，如何降低变频器发生故障后对生产造成的波动，是公司管理人员及技术人员需要解决的难题。

因此，仅通过现有措施无法保证变频器持续、稳定、高效地运行，必须选用其他方案，在保留其节约电能、调节便利、机械振动小的优势下，将变频器故障对生产的影响降到最低。

将变频器控制原理图进行技术改造，实现变频器故障自动切换至工频运行，本措施可以有效地解决上述问题。

主要思路及措施

在公司创新工作室试验基地，利用旧库存材料，安装了低压电源柜、变频器柜和电动机，建立低压变频器试验平台，并接入DCS试验平台，同时组织开展讨论，凝结集体智慧，提出需要解决技术问题，并逐一实现解决方案。

实现变频故障自动切换工频的功能，必须对变频器控制原理进行改造，改造需解决以下问题：

①当负载过电流或相间短路如何闭锁自动切换功能；②当负载接地时如何闭锁自动切换功能；③如何躲过变频器新上电时R1闭合的时间；④如何实现自动切换后操作柱或DCS停机功能；⑤如何消除电动机残压对工频运行的影响；⑥如何实现变频、工频切换后KM1与KM2仍具有互锁保护功能。

1. 实现“负载过电流及相间短路闭锁功能”

(1) 问题描述

一是过负荷，即变频器在变频状态运行时，因负载增加可能造成变频器过负荷运行（Altivar系列设置为1.1倍额定电流），变频器会报“负载过电流”故障。若将变频器切换至工频，工频启动期间综合保护器或热继电器将再次因“过热保护”跳闸；二是相间短路，当变频器输出负载电缆或电动机发生相间短路时，变频器会报“短路故障”，此时变频器若切换至工频再次启动，会造成接触器粘连及空气开关跳闸，切换后再次合闸到故障点应闭锁切换。

(2) 解决方案

综上所述，负载过负荷及负载相间短路变频器均故障停机，若投入变频自动切换工频功能，将会发生故障点重合闸，损坏设备，图样设计时应闭锁切换功能。无论过负荷还是相间短路，变频器均过电流运行。可以通过修改变频器运行参数，开通“电流阈值”功能，设定变频器内部电流阈值菜单为1.05倍额定电流。通过变频器本体R2端口输出，闭锁切换，即变频器报“负载过电流”或“短路故障”，电动机也不能工频状态重新启动。

2. 实现“负载接地故障闭锁功能”

(1) 问题描述

负载接地是指当电动机或电缆绝缘击穿单相对地短路故障。接地短路为变频器外部故障，切换至工频启动后会再次引起跳闸。因此，当在变频图样设计阶段应闭锁单相接地故障。

(2) 解决方案

变频器负载接地故障是通过检测输出三相对地存在漏电流，当漏电流超过阈值后变频器报“负载接地”故障，由于漏电流阈值较小，不能触发变频器电流阈值功能。变频器Altivar61主机菜单中不能分离“负载接地”故障，也无法将“负载接地”故障关联到R2输出端口，因此需外接检测设备。

而Altivar630变频器具有分离“负载接地”故障功能,可将“负载接地”作为报警组与R2端口关联,同“负载过电流”与“短路故障”共同触发R2端口,实现闭锁功能。

Altivar61型低压变频器运行年限较长,因此故障率也较高,当无法通过内部参数设定闭锁端口时,可采用RCM Sarle 460控制器与漏电流检测CT CTW2-S70配合,输出无源常开节点,实现闭锁功能。

3. 实现“躲过变频器新上电时R1闭合时间”

(1) 问题描述

一般情况下,R1作为变频器故障输出端口,作为变频器变频故障自动切换工频的指令。但是,在变频器通电前,变频器故障出口R1闭合。当变频器检测到电源电压时,变频器控制板开始工作,R1端口断开。经试验,在变频器新上电时,R1端口约为闭合时间3 s,本段时间是控制板自复位时间。若实现切换功能,应躲过变频器自复位时间;否则,变频器上电,将自动切换至工频运行。

(2) 解决方案

变频器故障R1闭合与变频器上电R1闭合区别在于变频器处于运行状态,前者变频器处于运行状态,据此,可在变频器原理图中增加断电延时继电器KT2,当KT2断电,再实现变频自动切换工频的功能。

4. 如何实现自动切换后操作柱或DCS停机功能

(1) 问题描述

在变频运行切换至工频运行后,应可以手动按现场操作柱停车及DCS停机,保证电动机可以自由停车。并联到启动按钮上的启动信号应为脉冲信号,具有延时打开的功能才能实现停机目的。

(2) 解决方案

利用工频原有停止按钮及DCS控制电动机的停止。设计时,利用通电延时继电器的得电延时闭合常开接点并接在启动按钮处,自动启动成功数秒后,得电延时闭合常开接点断开,不保持,利用工频的KM2自保持,保证停止按钮及DCS可以控制电动机停车。

5. 消除“电动机残压对工频运行的影响”

(1) 问题描述

变频运行期间,电动机转子建立磁场保证电动

机异步运行。当变频器故障后,转子磁场反作用定子,使得电动机定子线圈产生残压。若此时工频电压加到定子线圈,若残压与工频电压相角相差较大,会发生短路故障,造成空气开关跳闸,工频运行失败。

(2) 解决方案

变频器故障后,可以设置延时起动,使得电动机惰走逐步消耗掉电动机内部磁场,再次接入工频电压后,电动机可顺利起动。一般情况下,泵类负载延时不低于2 s,风机类负载延时不低于5 s。

在变频器控制原理图中,可增加延时继电器KT1,设置KT1时间,达到延时启动的目的。

6. 如何实现变/工频切换后两接触器仍具有互锁保护功能

(1) 问题描述

在变频运行切换至工频运行过程及正常运行时,应防止变频器再次启动,启动后也应防止变频接触器与工频接触器同时吸合的情况发生,杜绝两路同时输出造成负载处短路。

(2) 解决方案

利用原有的KM1与KM2常闭互锁接点,使得变频运行切换至工频运行时也具有互锁保护功能。

电气方案设计及实施

1. 原变频器控制原理图

图3为公司在用的低压变频器控制原理图,图中“工频”与“变频”状态切换需电气人员手动切换,工频与变频运行具有互锁功能。

2. 变频器故障变频自动切换工频方案设计及实施

根据上述解决问题的每一项方案进行归总设计,设计方案如下。

根据设计方案在低压变频器试验平台进行了实际接线,经过对各种功能的测试,变频故障自动切换工频的功能成功实现,同时,也实现了负载过电流闭锁及负载接地闭锁功能。

电动机起动期间变频器内部故障时,变频器R1动作、R2不动作,具体动作过程如下。

1) 变频运行。SA1切至变频位置时,KM1线圈得电,KM1主触头闭合,KM1常开触点闭合,KT2主线圈得电。按启动按钮2SBO,KA3、KA4、KA5、KT2-Y1线圈同时得电,KT2断电延时断开常

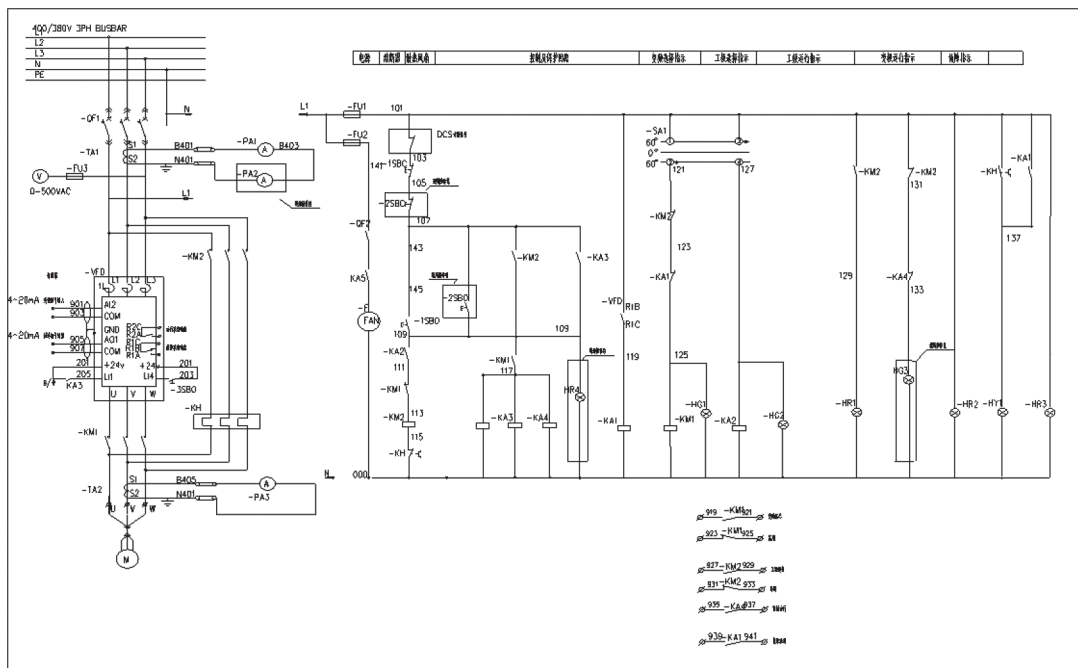


图4 改造前变频器控制原理图

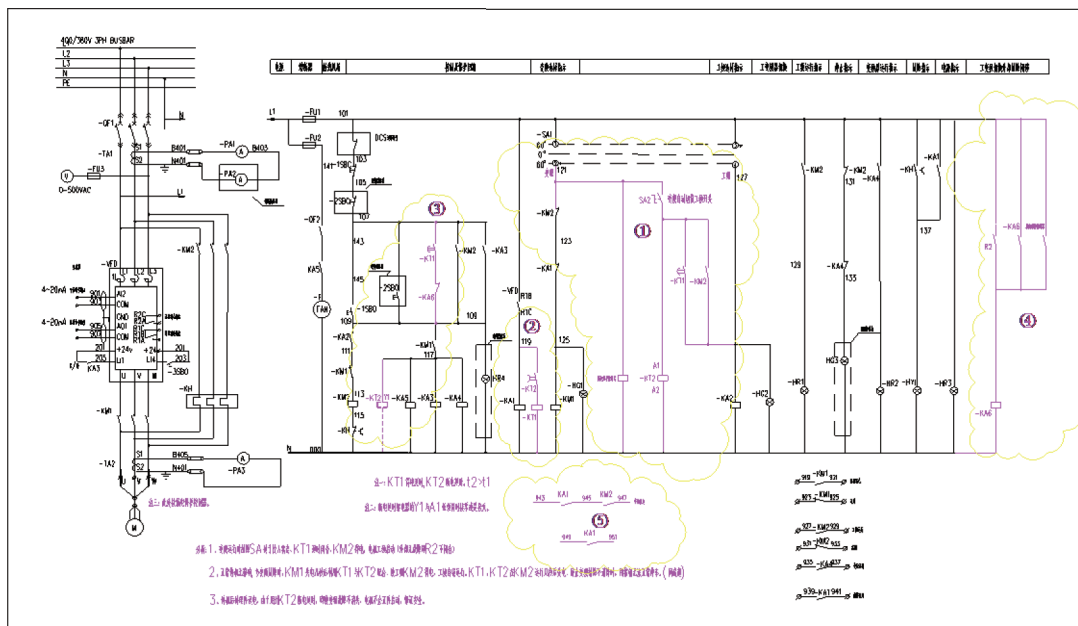


图5 变频器故障变频自动切换工频设计原理图

开触点瞬时闭合。KA3-1常开触点闭合自锁，变频器内KA3-2常开触点闭合，电动机变频运行。

2) 变频故障变频自动切换工频。当变频器内部故障时R1闭合，则KA1线圈得电，KA1常闭节点断开，KM1线圈失电，KM1主触头断开，KM1常开触点断开，KA3、KA4、KA5、KT2-Y1线圈同时失电，KA3-1常开触点断开，变频器内KA3-2

常开触点断开，电动机停止变频运行。R1闭合的同时，KT1线圈得电，KT1-1、KT1-2得电延时闭合常开触点延时闭合（KT2延时时间大于KT1延时时间），KA2线圈得电，KA2常开触点闭合，因R2不动作，故KA6线圈不动作，KA6常闭触点不动作，则KM2线圈得电，KM2-1、KM2-2常开触点闭合

(下转第139页)

加, 电场强度峰值在尖端处逐渐变大, 硅橡胶绝缘层的电场强度峰值从1 mm时的约2.0 kV/mm增加到3.5 mm时的约3.6 kV/mm, 交联聚乙烯绝缘层从1 mm时的约0.9 kV/mm增加到3.5 mm时的约1.3 kV/mm, 表明尖端高度的增加会导致电场畸变程度加剧。

2) 在不同电压下, 电场畸变程度也随之变化。当施加电压从10 kV增加到15 kV时, 硅橡胶/交联聚乙烯绝缘层交界面的电场畸变逐渐加剧, 15 kV时达到1.85 kV/mm, 接近空气击穿场强, 表明高压下电缆接头存在击穿风险。EA

(收稿日期: 2025-01-21)

参考文献

- [1] 黄博, 杨铭远, 聂永杰, 等. 绝缘材料热老化对电缆终端接头典型缺陷处电场畸变的影响[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(12): 124-132.
- [2] 赵筱赫, 杨捷, 李士强, 等. 电缆中间接头缺陷仿真与局部放电实验研究[J]. 河南工学院学报, 2024, 32(2): 1-7.
- [3] 邱冬, 刘刚, 李旭, 等. 10 kV T型电缆接头在界面爬电下的多物理场特性研究[J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(11): 179-183.
- [4] 邓繁盛, 高媛, 李秀峰, 等. 基于电-热-力场的10 kV电缆终端典型缺陷仿真研究[J]. 绝缘材

料, 2023, 56(3): 100-106.

- [5] 赵腾飞, 聂永杰, 孙成. 10kV环网柜电缆肘型头故障分析[J]. 山西电力, 2022, (3): 26-29.
- [6] 杜伟, 汪超, 张帆, 等. 电缆中间接头受潮时界面放电试验研究[J]. 电工材料, 2022, (1): 63-68.
- [7] 刘浩然. 基于电磁—热—力特征的电缆接头缺陷识别研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2024.
- [8] 刘英, 苏宇, 李文沛. 10 kV XLPE电缆接头的电场模拟方法研究[J]. 高压电器, 2016, 52(4): 30-35.
- [9] 应高亮, 张波, 卢晓峰, 等. 10kV交联聚乙烯电缆接头缺陷局部放电特性的研究[J]. 浙江电力, 2014, 33(3): 5-9.
- [10] 江天炎, 成守花, 毕茂强, 等. 基于ANSYS的电缆接头典型绝缘缺陷电-热场仿真研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2019, 33(9): 151-158.
- [11] 姜芸, 闵红, 罗俊华, 等. 220kV电缆接头半导电尖端缺陷的局部放电试验[J]. 高电压技术, 2010, 36(11): 2657-2661.
- [12] 郝云倩. 含缺陷的XLPE电缆接头电磁—热特性研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2023.

(上接第134页)

自锁, KM2、KA2线圈长期得电, 电动机工频连续运转。KT2断电延时断开常开触点经延时数秒后断开, KT1线圈失电, 则KT1得电延时闭合常开触点瞬时断开。电动机依靠KM2自锁触点连续工频运转。

3) 现场操作柱手动停机。按停止按钮2SBC, KM2线圈失电, KM2主触头断开, KM2常开自锁触点断开, 电动机停止运转。DCS停机: 给DCS停机指令, KM2线圈失电, KM2主触头断开, KM2常开自锁触点断开, 电动机停止运转。

4) 负载过电流闭锁及负载接地闭锁。当发生外部短路故障时R2闭合, 则KA6得电, KA6常开

触点闭合(负载接地故障时漏电保护器常开触点闭合), KA6线圈长期得电, KA6常闭触点断开, KM2线圈不能得电, 闭锁了变频自动切换工频的功能。

结束语

“低压变频器变频故障自动切换工频”项目, 是仪电两个专业首次深入合作进行的攻关项目, 并且过程中与生产单位密切沟通, 根据生产工艺调整设计方案, 多专业联动, 规避风险。目前, 试验时平台已经模拟试验成功, 具备应用条件。EA

(收稿日期: 2024-04-29)