

兆瓦级同步电动机变频驱动系统 起动控制分析

通过分析同步电动机常用的起动控制方案特性,以输气管道工程中大型电驱压缩机现场测试案例,主要介绍了无刷励磁同步电动机无编码器新型起动控制方案——低频脉冲注入(LF PULSE)的首例成功运用,有效抑制了电动机起动的反转对压缩机密封的不良影响,对管道压缩机的兆瓦级同步电动机起动控制有示范作用。

赵选峰/北京ABB电气传动系统有限公司

何丽梅/中国石油工程建设有限公司西南分公司

0 引言

离心压缩机是天然气输送和液化的重要设备，目前国内输气干线上运行的20 MW级变频驱动离心压缩机约120台，配置无刷励磁同步电动机，在处于爆炸危险环境的厂房内采用无编码器配置，起动机组时需要将转子从静止位置校正到预订位置，从而控制同步电动机的励



赵选峰/工程师

关键词/Keywords

低频脉冲注入 (LF PULSE) .

编码器 ·

极性探测起动

强制起动・

励磁起动·

磁和运行,但是压缩机的密封系统会因此受到损害,故需要采用一种合理的控制方案解决反转问题。

本文对这类变频驱动系统的无编码器控制方式进行综合分析,采用了低频注入(LF PULSE)方案解决反转问题。通过在现场调试和验证,完全消除了起动电动机时反向0.5转问题,是国内外首次成功的案例,有着良好的示范和指导意义。

1 概述

中卫—贵阳输气管道输气能力 $150 \times 108 \text{ m}^3/\text{a}$ ，设计压力 10 MPa ，管径 $\phi 1016 \text{ mm}$ ，设置的电驱压缩机采用 ACS5000 变频器驱动 16 MW 的同步电动机，其原理图如图 1 所示。

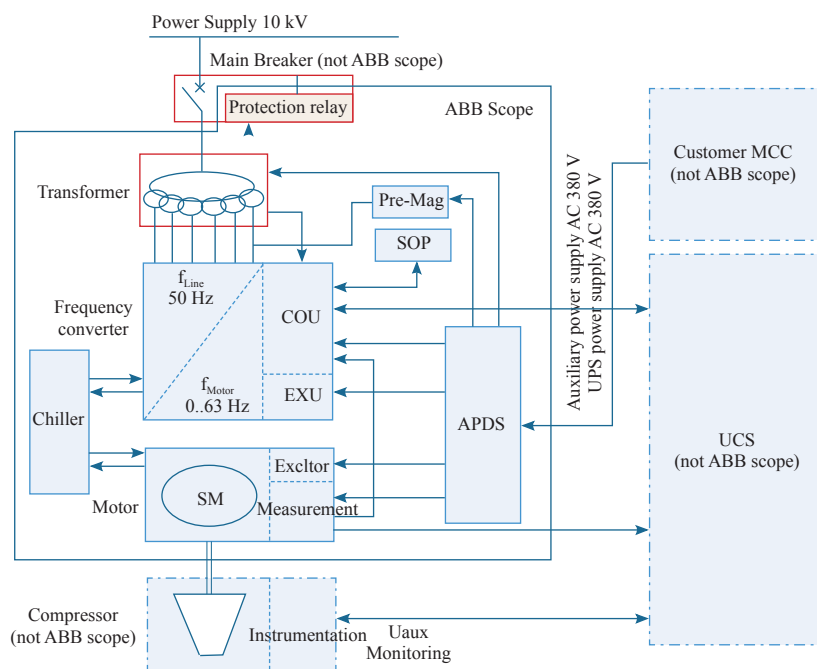


图1 原理图

由于压缩机干气密封系统为螺旋槽式干气密封设计，主要有双向槽和单向槽两种，其中单向槽干气密封刚度较好，适用于中压和高压离心压缩机^[1]。

输气管道投入运行后，离心压缩机可以在65%~105%额定转速范围内工作，电动机额定转速1 800 r/min，以升速齿轮箱（变比为6.34）提升压缩机转速至额定转速11 420 r/min，如果电动机侧反转0.5转，压缩机侧就会超过3转，而机组启动停止对于干气密封系统的可靠性和寿命影响最大，多次启动反转将会损坏机组的密封系统^[2]。因此，需要调整驱动系统的启动控制方式，避免电动机反转的问题。

2 控制方案

ACS5000启动电动机的控制方式主要是强制启动、励磁启动和极性探测启动，低频脉冲注入方式则是最新完成工厂检测的方案，各项性能对比如下表所示。

2.1 强制启动

Forced Pos是简单易行启动方式，只需要设定无编码器定位的最大电流和电流斜坡上升的时间即可。启动时，变频器先执行无编码器定位，将转子慢速地旋转到已知的位置，默认是0°，然后从此位置启动电动机。由于启动前转子位置是任意

的，转子到0°位置时系统选择最近路径，因此可能顺时针或者逆时针旋转，就会随机产生正转或者反转的情况，显然不适用压缩机的工作要求。

调试过程中，为了得到电流和斜坡时间的最优组合，在现场做了多组数据，选择电动机启动过程中电动机振动最小值的组合值进行控制，启动方法极其可靠，然而由于不能预知转子的位置，不可避免地存在启动反转的情况，因此不能用于压缩机的启动控制。

2.2 励磁启动

Excitation工作原理是在电动机励磁绕组注入一个快速变化的励磁电流，定子三相绕组中就会有感应电流，根据定子三相电流测出的矢量关系，可以计算出转子的准确位置和极性，然后从探测到的转子位置直接启动电动机。由于探测转子位置时，需要励磁系统的快速响应，而现场调试中，通过监控参数和内部变量指标的多次验证，发现励磁电流响应太慢，无法启动电动机。

2.3 极性探测启动

Pol Det启动原理是注入电动机定子大电流产生磁通，使电动机处于饱和状态，以此为基础通过软件算法探测转子位置和极性。进行极性探测时，电动机会有强烈的噪声，变频器也有电流噪声，在确定极性后，减少输入电流消除噪声。

这种启动方式对电动机制造有一定要求，d轴

表 启动方式性能对比

序号	启动方式	描述	应用情况	启动时间	备注
1	LF PULSE 低频脉冲注入	用同时加到定子和转子的两路低频电压信号来计算转子的位置和正负极性	适用于有刷和无刷同步电动机，现场测试无失败记录	无刷励磁：<6 s 有刷励磁：<5 s	否
2	FORCED POS 强制启动	在定子上加一个缓慢斜坡上升的电流，强制将转子达到预知的位置，然后启动电动机	适用于所有的有刷和无刷同步电动机，没有启动失败记录	根据不同的目标电流和斜坡时间设定，启动时间在20~45 s之间	50%
3	EXCITATION 励磁启动	启动时给转子加一个上升斜坡非常快的励磁电流，然后在电动机定子三相绕组里会测到大小不同的感应电流，根据三相电流计算转子的位置，并探测到位实际置启动电动机	适用于有刷励磁和极少部分的无刷励磁电动机，对于有刷励磁电动机启动有保障	5~20 s	否
4	POL DET 极性探测启动	是一种饱和算法，将电压矢量接近d轴的正或负向，由于电动机的次暂态电抗与绕组饱和有关，启动时的电流响应与正常响应有所不同	适用无刷励磁电动机，对电动机次暂态电抗值有参数要求，启动成功率80%	启动成功5 s，启动失败很容易引发定子/励磁过电流故障	否

和 q 轴次暂态电抗值必须存在差值,否则难以起动电动机。本项目的ABB电动机 d 轴和 q 轴次暂态电抗分别为17.3%、25.9%。经过多次测试,起动成功率80%,不能正常工作主要是定子过电流、励磁过电流和极性检测失败等原因。总之,对于兆瓦级功率的同步电动机,极性探测的控制方式可靠性不够,不建议使用。

2.4 低频脉冲注入

2.4.1 LF PULSE工作原理

从电动机定子注入一个低频低压($f \leq 10$ Hz, $U \leq 1\% U_c$)的电流,电角度每 180° 为一个循环周期,转子也有相应的感应电流,其在定子磁场空间旋转一周,定子电流为转子电流2倍周期。根据测得的定子和转子的电流来确定基波分量,以基波分量的幅值生成一个转子和一个定子“Indicator Quantity”的指标量,从两个量对应关系就可以计算出转子位置和极性。

如图2所示,电角度 γ 以定子A相绕组为基准,取用 γ 为60的整数倍的角度,如 0° , 60° , 120° 等;让电角度 γ 从 0° 开始旋转到 360° ,不断地采集点进行计算,从而绘制图3曲线。

2.4.2 确定注入方案

在控制逻辑中称为Identification Run,简称ID

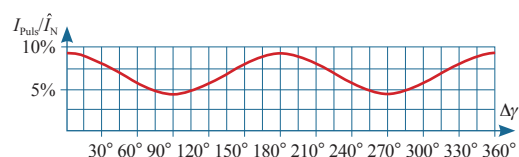


图2 γ 角度为 0° 时定子的指标量

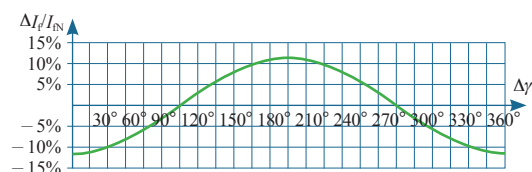


图3 γ 角度为 0° 时转子的指标量

Run。主要是通过测试确定现场电动机注入电流的最佳电压及频率组合方案。对于不同的组合方式得到的指标量波形是不同的,而定子和转子的Indicator Quantity指标曲线接近正弦曲线是可靠起动的必要条件。图4显示了不同测试案例对比,现场调试时进行了多个组合方案匹配,最终选择图4右图数据作为压缩机电动机起动ID Run设定值,起动过程参数记录曲线如图5所示,通过多次测试实现起动的100%要求。

结论:当电压幅值增大时,电动机转子围绕静止位置左右摆动较大(站在电动机负载端目视),反之则摆动较小;当频率更低时,电动机电流尖峰更大,且每个周期耗时更长。因此,尽

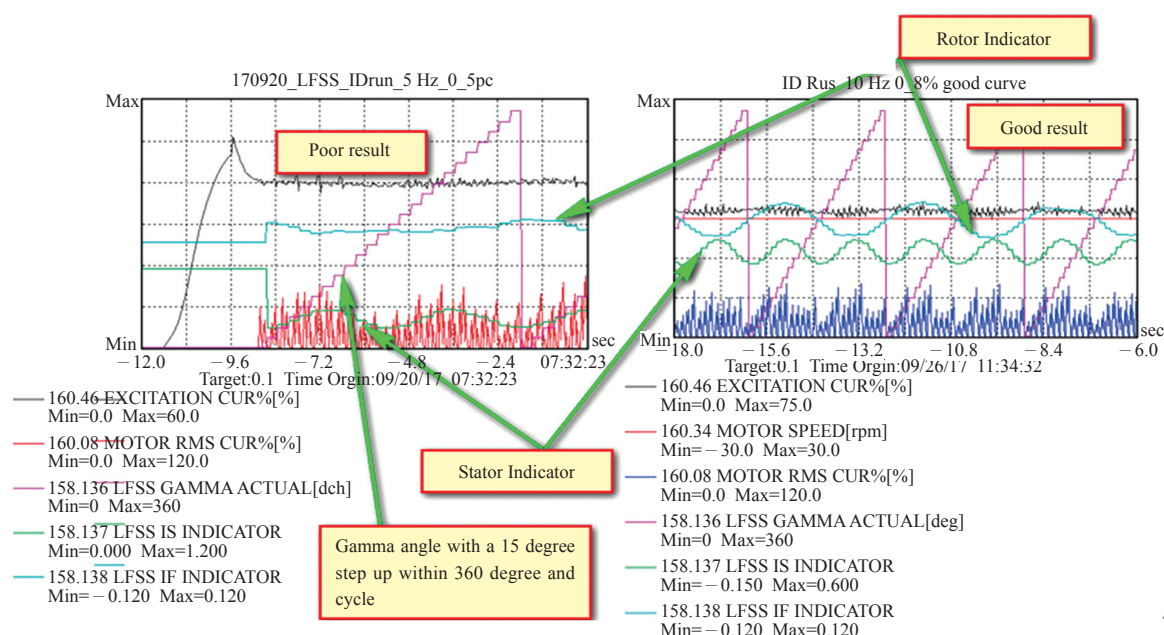


图4 电动机测试ID指标量波形对比图

量选择较大的频率和较低的电压幅值组合进行电流注入。作为控制方案的基础数据,研发方需要收集现场控制值,积累经验数据后固化在软件中,减少测试时间。

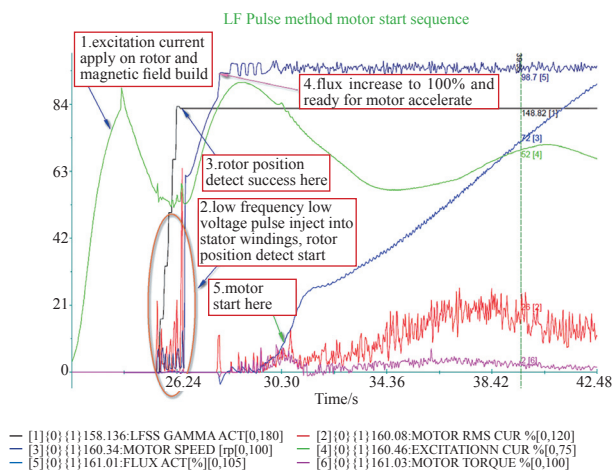


图5 电动机起动过程参数响应图

2.4.3 抑制起动反转

LF PULSE是2016年研发的控制方案,缺少与电动机联机测试的真实数据,在本项目的现场调试过程中遇到了电动机反转(统计概率约10%)的情况,如图6所示。可以明显看出起动电动机时,电动机先反转一个角度(观察到的最大反转角度约30°),随后返回到初始位置,然后电动机开始

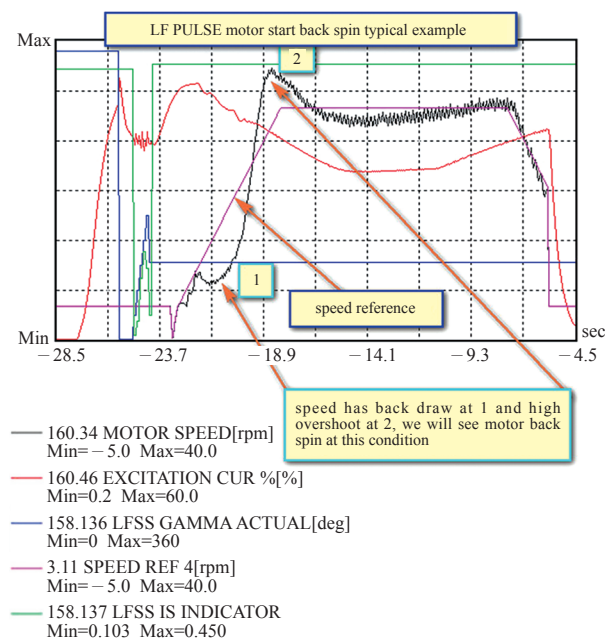


图6 电动机起动速度响应曲线1

正转起动,正向加速到额定转速。

现场反复地测量反转角度后,发现软件算法变量取值造成初始转子位置测算误差,导致反转。根据现场实测数据修改了控制软件,继续测试两周后,修正值保证了计算准确性,进行了400多次的起动运行,消除了反转问题,如图7所示。

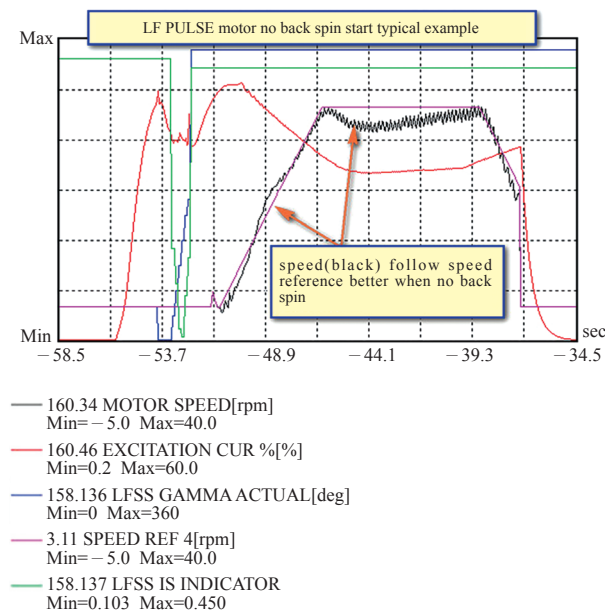


图7 电动机起动速度响应曲线2

3 结束语

低频脉冲注入(LF PULSE)的起动控制方案是ABB研发的新型技术,适用于所有无刷励磁和有刷励磁同步电动机,起动时有效地抑制了定位转子的反转可能,调试简单,可靠性高,是一种理想的无编码器同步电动机起动方式。在中卫—贵阳输气管道的压气站首次成功运用,彻底解决了机组起动过程中存在的影响干气密封性能的缺陷,可以进行推广应用。

参考文献

- [1] 刘培军,杨默然.干气密封在离心压缩机中的应用[J].油气储运,2007,26(7):51-54.
- [2] 张蕾.干气密封在离心压缩机中的应用影响因素分析[J].石油和化工设备,2015(18):68-70.

(收稿日期:2018-02-17) EA