

Variable Frequency Soft Starter Applied in Large Synchronous Motors

Tianqing Xia¹, Peng Li², Guoyun Ning², Yihua Wang²

¹Bubei Dayukou Chemical Co., Ltd, Jingmen Hubei

²Dayu Electrical Technology Co., Ltd, Xiaogan Hubei

Email: gyning@126.com

Received: Sep. 10th, 2015; accepted: Sep. 23rd, 2015; published: Sep. 30th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

With the wide application of the large synchronous machines, the variable frequency soft starter is more and more widely used in starting of them. Taking an iron & steel company's 27 MW high-voltage synchronous motor using the variable frequency soft starter as an example, this paper introduces the variable frequency soft start technology in the application of the large synchronous motor. It is shown that when the large synchronous motor is started by the variable frequency soft starter, the starting current is less than the motor rated current, the bypass operation process is smooth and steady, and the operation is simple and easy to use.

Keywords

High-Voltage Synchronous Motor, Variable Frequency Soft Start

变频软起动装置在大型同步电机中的应用

夏天庆¹, 李 鹏², 宁国云², 王怡华²

¹湖北大峪口化工有限责任公司, 湖北 荆门

²大禹电气科技股份有限公司, 湖北 孝感

Email: gyning@126.com

收稿日期: 2015年9月10日; 录用日期: 2015年9月23日; 发布日期: 2015年9月30日

摘要

随着大型同步电机的广泛应用，高压变频软起动装置越来越广泛的应用于大型电机的起动中，本文以某钢厂27 MW高压同步电机一拖二变频软起动项目为例，介绍了变频软起动技术在大功率高压同步电机中的应用，应用表明高压同步电机采用变频软起动装置时，起动电流小于电机额定电流，旁路运行投切过程平稳无冲击，操作简单使用方便。

关键词

高压同步电机，变频软起动

1. 引言

同步电动机与异步电动机相比具有功率因数高、效率高等特点，运行在过励状态时，可使功率因数超前，向电网输送无功功率，从而提高电网的功率因数[1]，同步电动机应用越来越普遍。大功率同步电机直接起动电流很大，在配备电力变压器时要求充分的储备容量，给电网带来了极大的电能浪费。过大的起动电流还会对电网造成冲击，影响同一电网上其他设备的正常运行，可能使欠压保护动作，造成跳闸事故。因此大部分高压大功率电机都配套了软起动装置，以限制起动电流，降低对电网冲击，相比传统装置，采用软起动装置能够降低大功率电机起动过程中电网的压降和谐波，减小电机起动过程对电网的干扰，能够减小电机起动时对电机及其负载设备的机械冲击力，通过减少起动电流能够保护电机，延长电机的使用寿命[2]。随着高压变频器的发展，成本也越来越低，将高压变频器应用于大型同步电机的起动成为一种趋势，本文以陕西龙门钢铁有限责任公司高炉风机项目为例，研究了一种高压变频软起动装置在大型同步电机起动中的应用。

2. 变频软起动介绍

随着高压大功率同步电机的普遍应用，其起动问题逐渐成为大型工业企业内部电网的一个主要矛盾。起动方式的选择不仅影响工程的一次性投资大小，而且也影响到今后电网和设备的安全稳定运行。

变频软起动是采用变频器作为软起动器来控制电机起动。其工作原理是通过功率器件的有序开关，形成各种频率和电压的 PWM 电压波形施加于电机端[3]。起动过程中，频率改变的同时保证电机磁通近似不变，即电压频率之比为常数。当电机达到额定转速后将电机切换到工频电网恒速运行。

变频软起动的优点是起动电流小，一般不超过电机额定电流，起动转矩大，系统较简单，维护方便，控制性能好，输出波形质量高，对电网污染小；起动和并网时间短，易于自动控制。

3. 变频软起动案例

3.1. 项目基本情况

陕西龙门钢铁有限责任公司高炉鼓风机系统为一拖二变频软起动控制系统，包括两台 27,000 KW 同步电机和两台 AV71 轴流风机，其中 1#电机为西门子生产的同步电机，主要参数见表 1，2#电机为上海电气生产的同步电机，主要参数见表 2，变频软起动装置型号为 GBRQ-MV10M5，主要参数见表 3，轴流鼓风机信型号为 AV71-16，其主要参数见表 4。

该高压变频软起动装置为高高级联型，采用变压器移相技术，功率单元直接串联结构；功率单元与

Table 1. 1# motor parameters
表 1. 1#电机参数

电机类型：同步电机			
型号	1DZ2049-8AE02-Z	额定功率	27,000 KW
额定电压	10 KV	额定电流	1762 A
功率因数	0.9	转速	1500 r/min
励磁电压	234 V	励磁电流	67A
制造商	西门子	转动惯量	2120 Kg·m ²

Table 2. 2# motor parameters
表 2. 2#电机参数

电机类型：同步电机			
型号	1WS 27000-4	额定功率	27,000 KW
额定电压	10 KV	额定电流	1764 A
功率因数	0.9	转速	1500 r/min
励磁电压	134 V	励磁电流	169 A
制造商	上海电机厂	转动惯量	2120 Kg·m ²

Table 3. Soft starter parameters
表 3. 软起动装置参数

变频器型号：GBRQ-MV10M5-10/10B			
额定容量	10,500 KVA	控制电压	380 V
输入频率	50 Hz	输出频率	0~100 Hz
输入电压	10 KV	输出电压	0~10 KV
制造商	大禹电气	输出电流	606 A

Table 4. Axial flow fan parameters
表 4. 轴流风机参数

风机类型：大型轴流压缩机			
型号	AV71-16	进气温度	13.5 °C
主轴转速	4550 r/min	进口流量	4000 Nm ³ /min
进气压力	0.43 MPa	排气压力	0.43 MPa
制造商	陕鼓动力	轴功率	27,000 KW

主控系统采用光纤连接，具有高可靠性及快速性，可实现无冲击同步切换[3]。当电机达到工频后切过程中变频器能自动跟踪电网的频率、电压和相位，实现同频、同压、同相位切换，切换过程平稳，电流波动小；另外，变频器可进行 PLC 编程。因此该变频器用于同步电机软起动具有很大的优越性。

3.2. 变频软起动系统控制过程

本项目为一拖二变频软起动系统，如图 1 所示。

以起动 1#电机为例，调节轴流风机静叶开度，确保负载为空载状态，开启顶升油泵和盘车电机，如

果 2#电机处于备用状态，从安全角度考虑，把 2#电机对应的 QF2-1、QF2-2、QF2-3 三台断路器手车推到试验位。确保 1#电机对应的 QF1-1、QF1-2、QF1-3 三台断路器手车在工作位，确保 1#电机励磁柜，变频软起动装置上电处于正常工作状态，此时，轴流鼓风机监控系统(DCS 系统)将判断是否具备开机条件，DCS 变频起动监控界面如图 2 所示。

具备起动条件以后，变频器投运程指示灯亮绿灯，励磁就绪指示灯亮绿灯，通过 DCS 发送变频器预充电合闸命令，变频软起动装置完成自检以后，发送合闸指令合上输入电源开关 QF1-3，接着合上 QF1-1，并向 DCS 回送变频器允许起动信号，此时，DCS 可向变频起动装置发送“起动命令”，变频软起动装置

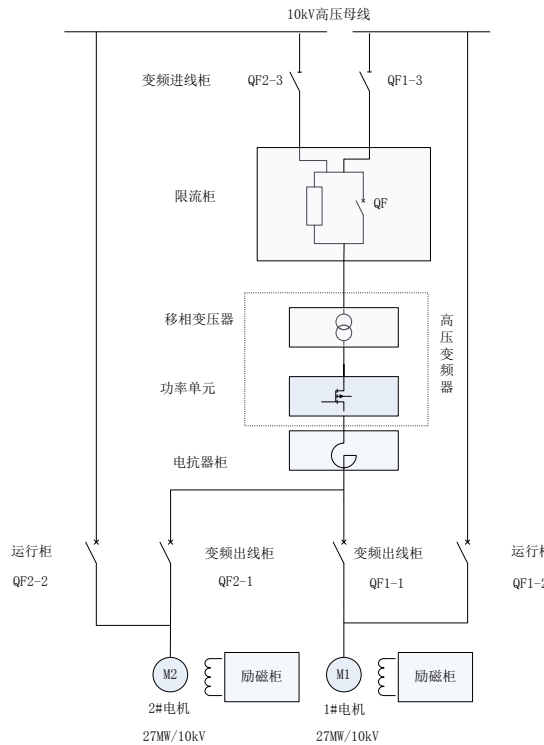


Figure 1. System scheme
图 1. 系统方案图



Figure 2. The monitor interface of system starting
图 2. 机组启动监控界面

接到起动指令，首先向励磁柜发送投励磁指令，接到投励正常以后，变频软起动装置开始输出，并按设定的加速曲线，逐渐加速到电网频率，并跟踪电网电压、电网频率和相位，在完全锁相以后，变频软起动装置发送闭合运行开关 QF1-2，再依次断开 QF1-1 和 QF1-3，变频软起动完成，变频软起动装置可退出运行，处于安全考虑，可以退出 QF1-1 和 QF1-3 手车到试验位。

励磁柜在变频软起动过程中始终由高压变频器控制，变频器根据电机功率因数，在起动过程中可调节励磁电流。若励磁控制柜出现故障，变频器显示故障信息，同时对外部起动命令不予响应。若在起动过程中变频器出现故障，则变频器停机，同时发出变频器故障给励磁控制柜，励磁控制柜对同步电动机灭磁。实际起动时的输出电流电压波形如图 3 所示，起动时间约为 180 秒，黄色为输出电压波形，红色为输出电流波形。起动过程可分为三个阶段，第一阶段为同步电机自整步阶段，输出电流约为 380 A；第二阶段为加速阶段，变频器按照设定的输出曲线逐渐加速，整个加速过程电流约为 320 A，由于轴流风机有三个临界转速点，起动过程中要快速穿越，变频器设置了三个跳频点[4]，在跳频点的流约为 390 A；第三个阶段为锁相旁路阶段，当变频器加速到接近额定转速时，变频自动跟踪电网频率、相位、电压，当变频器的输出电压、频率、相位和电网完全一致时，旁路到电网，起动过程完成。变频软起动装置监控画面显示的输出状态值如图 4 所示。由图 3、图 4 可知，变频软起动过程输出电压平稳上升，输出电流稳定，起动电流远小于电机额定电流，起动完成以后旁路切换平稳，没有冲击电流。

3.3. 励磁柜与高压变频器的配合

变频器起动时，其输出频率一般从 0 Hz 或一极小频率开始运行，此时变频器发出投励运行信号、通过 4~20 mA 模拟量信号端子发送励磁电流给定信号至励磁装置[5]。

励磁装置立即投励，并根据所给定的励磁电流输出励磁电流。随着变频器输出频率增加，电机的速

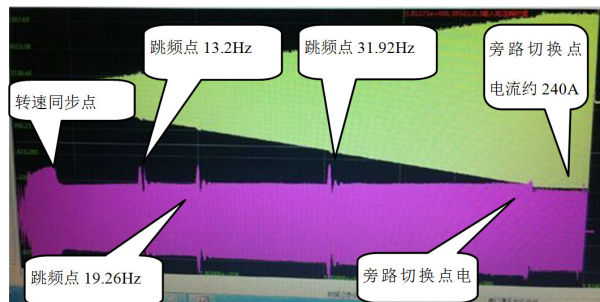


Figure 3. Output voltage and current wave of starting
图 3. 起动输出电流电压波形图



Figure 4. The monitor interface of Soft starter
图 4. 软起动器监控画面

度逐渐升高,变频器自动计算励磁给定值并发送励磁电流给定信号,励磁装置跟随变频器的励磁电流给定值并工作在恒流励磁状态,达到同步起动过程中定子电流最小的起动要求。

在起动过程中如果变频器发生故障,励磁装置立即封锁励磁输出并通过灭磁回路进行续流灭磁,将励磁绕组中的能量以发热形式消耗掉。

起动完成后电机定子将切换到电网运行,切换过程中,励磁装置按照切换前的励磁电流值运行,在接受到运行开关闭合信号以后,励磁装置按照设定的运行方式工作,如恒电流、恒功率因数等。

4. 结束语

变频软起动的整个控制过程由变频器自动实现,变频器监视外围工作环境,若不满足工作条件,变频器将禁止启动。若遇到紧急情况,变频器自动跳高压,直到启动条件恢复后,方可重新合闸并运行。DCS 只需发变频器预充电和起动 2 个指令,操作简单明了。工频切换过程中变频器自动跟踪输出频率、电压和相位角并将其锁定,切换过程非常平稳;冲击电流较小,电网几乎感觉不到任何波动,实现了完全无冲击的软起动。

参考文献 (References)

- [1] 高东升 (2009) 大功率同步电机的软起动. 硕士学位论文,西南交通大学,成都.
- [2] 宁国云,袁佑新,黄声华,朱罡,郭涛 (2011) 大型电动机软启动装置性能分析与比较. *电气传动*, **8**, 52-57.
- [3] 仲明振,赵相宾 (2009) 高压变频器应用手册. 机械工业出版社,北京.
- [4] 马少栋,李春曦,王欢,祁成 (2010) 动叶可调轴流风机失速与喘振现象及其预防措施. *电力科学与工程*, **7**, 33-37.
- [5] 杜治潮 (2001) 同步电机励磁装置应用技术. 东南大学出版社,南京.