



首秦高炉鼓风机配套高压交流大电机的启动设计

刘燕 王凤阁 周焱 胡国新

摘要 介绍了首秦高炉鼓风机配套高压交流大电机的降压启动方式以及各种启动设备的特点, 阐明了液态软启动装置的工作原理, 指出了该装置的技术特点, 为高压大电机启动设备的选择提供了参考依据。

关键词 电机启动 高压交流大功率电动机 液态软启动装置

0 引言

高压交流大功率电动机直接启动会造成许多危害, 如对电网造成电压的下降, 影响共网其它设备的正常运行; 再则会对电动机及所带的设备产生机械冲击, 加速电动机的老化或机械的损坏。故大功率交流电动机一般采用软启动或降压启动方式。

1 大功率启动方式的种类及特点

目前大功率电机的启动方式主要有: 串自耦变压器启动、串电抗器启动、液力耦合器调速、交流变频器启动及调速、固态软启动、液态软启动。

1.1 串自耦变压器启动

启动的机械特性较硬, 启动电流较小, 平均启动电磁转矩小, 连续及频繁启动性能低。且抽头比较固定, 难以保证电机的最佳启动性能。对工况变化不可能做到最佳的适应性调整。

1.2 串电抗器启动

串电抗器启动是过去采用比较多、较为传统的一种启动方式。启动时在主回路中串入电抗器, 靠其电感作用限制启动电流, 启动完毕后将电抗器切除。这种方式的启动特性也较硬, 启动电流较大, 工况适应性差, 只能根据电机及负载参数制作, 一次成形, 参数不可调节。

1.3 液力耦合器

液力耦合器调速属低效无级启动及调速方式, 在恒速电动机与被驱动机组间联接, 通过调节液力耦合器内的油压来改变液力耦合器转差以实现启动与调速, 具有调速范围大、调速平稳、无谐波污染、装置结构及控制线路简单、运行可靠、维护方便、可做成大容量等许多优点。但轴向安装尺寸大, 大容量机组需设置油站, 若液力耦合器出现故障, 必须停机处理, 在运行中存在滑差损耗, 能耗大, 尤其不适应恒速运行机组, 无法对已安装机组进行改造。

1.4 交流变频器启动及调速

该方式为高效节能的启动和调速方式, 它通过改变电机定子端的频率与电压以实现启动与调速, 具有调速范围大、精度高、效率高、节能效果好、特性强等特点。但技术复杂, 维护检修水平要求高, 用于高压电动机启动, 投资大, 回收期长。

1.5 固态软启动

固态软启动装置 (SMC) 近年来随着电力电子技术迅速发展, 其性能超群, 采用微机智能控制, 具有限流、限压、泵控等多种功能选择, 保护安全, 体积小, 运行可靠。但高压尤其是 10 kV 以上等级的制造单位少, 造价高, 投资回收期长。

1.6 液态软启动

液态软启动设备是近年来新开发出来的一种装置, 适应于额定电压为 3 ~ 10 kV, 频率为 50 Hz, 大中型鼠笼式异步电动机或同步电动机的启动与保护, 尤其适用于电网容量不足的工矿企业。



该装置由控制柜、切换柜和液阻柜三部分组成，其启动时间、液态电阻阻值等参数可以根据现场工况随即调整。可以连续启动3次，启动后液阻自动切除。自动化程度高，价格仅为固态软启动装置的1/6~1/8，不仅适应于新工程高压大功率电机的启动，也适合已有启动装置的改造。

2 首秦高炉鼓风机电机液态软启动设计

2.1 技术参数

首秦工程1号高炉鼓风机原配套的电机是哈尔滨电机厂生产的，由于电机运行时轴振问题发生跳闸，无法正常生产，因而改用西门子的电机来代替。2台电机参数见表1。

表1 哈尔滨及西门子电机参数

	哈尔滨电机	西门子电机
型号	T14 000 - 4/1 800 凸极同步	10E1737 - 8AE02 - Z 凸极同步
额定功率 kW	14 000	15 500
额定电压 kV	10	10
额定电流 A	926	926
功率因数	0.9 (超前)	0.95 (超前)
额定频率 Hz	50	50
额定转速 r/min	1 500	1 500
效率	97.5%	98.1%
极数	4	4
满载时励磁电压 V	80.1	46
满载时励磁电流 A	452	1 065
空载时励磁电压 V	32	21
空载时励磁电流 A	238	504
励磁方式	有刷	无刷
启动参数:		电压: 1 倍时
启动转矩: 3.0 倍		启动转矩: 0.95 倍 (限制)
牵入转矩: 2.2 倍		启动电流: 4.5 倍 (限制)
失步转矩: 2.0 倍		启动时间: 12 s
启动电流: 6~8 倍		电压: 0.67 倍时:
		启动转矩: 0.45 倍 (限制)
		启动电流: 3.0 倍 (限制)
		启动时间: 40 s

由于首秦高炉鼓风机电机功率较大，在方案阶段也曾考虑过采用数字化控制系统的大功率变频启动装置，但考虑到投资、厂地、工期等诸多因素，该方案实现较为困难。经过进一步的计算、

论证及有关资料信息的查询，柳钢 13 500 kW 高炉风机采用湖北追日电气设备有限公司研制生产的 GZYQ 高压交流电动机液态智能软启动装置于 2003 年 8 月 15 日带载启动一次成功。经过与追日公司的交流与仿真计算，GZYQ2 - 15 000/10 - YT 液态软启动装置完全能满足西门子 15 500 kW 同步电机的启动要求。电气主接线见图 1:

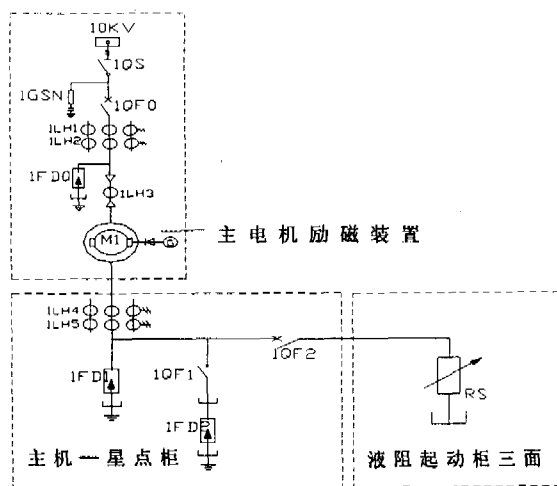


图1 电气主接线

2.2 启动工作原理

在电机的定子回路中串接液体电阻，电机的启动过程中通过液阻柜中电极板的移动来均匀改变液体阻值的大小，且均匀地提高电机的端电压，减小对电网的冲击，电机转速随着电阻值的减小而平滑升高，当励磁柜中的检测设备检测到电机的转速达到电机额定转速的90% (14 000 kW 电机) 或96% (15 500 kW 电机) 时，发出投全压信号，液态软启动设备中的切换柜合闸，将液体电阻切除。同时电机星点短接，电机继续升速，当达到电机亚同步转速时，电机励磁柜投励，拉入同步运行。由于该装置的核心部分在电气一次主回路上，故设备维护量小，启动运行可靠。

2.3 启动过程

先合上电机启动断路器 1QF2，再合上电机运行断路器 1QF0，电机开始带液体电阻降压启动。当启动完毕后，星点短接柜中的 1QF1 断路器合闸，将电机星点短接。由于 1QF2 与 1QF1 设置了



电气连锁, 1QF1 合闸后, 1QF2 自动断开, 将液阻柜切除, 电机进入正常运行状态。

3 首秦高炉鼓风机电机启动计算与实际启动数据

3.1 启动压降

根据相关理论电机启动时电动机端子电压应能保证生产机械要求的启动转矩, 即 $U_{qd} \geq = \sqrt{(1.1 \times 0.3 / 0.95)} = 0.589$ (注: 取 0.3 为鼓风机的静阻转矩相对值; 0.95 为此西门子电机启动转矩相对值)。因此, 电机在启动时要求电动机的端子电压相对值应大于 0.589。

电动机的额定容量为 $S_{ed} = \sqrt{3} I_e U_e = 1.732 \times 960 \times 10 = 16.672$ MVA, 高炉鼓风机的主电机启动电流为 3 010 A, 在此情况下的电动机的启动容量为 $S_{qd} = 1.732 \times 3 010 \times 10 = 52.13$ MVA, 忽略线路及无功部份作用的影响, 此时 10 kV 系统母线电压水平相对值为 $U_{qm} = 195 / (195 + 52.13) = 0.789$ (195 为系统最小短路容量值) 此值与现场实测数据是一致的。

电动机在启动时, 启动回路的额定输入容量为 $S_q = 1 / (1/S_{qd} + R_s/U_e^2) = 1 / (1/52.13 + 0.38/10^2) = 43.51$ MVA (R_s 为水电阻在电机启动时的起始值为 0.38 Ω , 启动完后阻值降为 0.15 Ω)。

$U_{qd} = (U_{qm} S_q) / S_{qd} = 0.789 \times 43.51 / 52.13 = 0.659$; 显然大于静阻转矩要求的电动机的电压水平相对值 0.589, 可以保证生产机械要求的启动转矩。

3.2 启动时间:

$t_q = GD^2 n^2 e / \{365 \times P_{ed} (U_{qd}^2 \times m_{qp} - m_j)\} S$
 GD^2 机组的总飞轮矩 (转动惯量) $t \cdot m^2$; 负载机械的转动惯量为 20 $t \cdot m^2$, 西门子电机的转动惯量为 1.1 $t \cdot m^2$; 电机功率 $P_{ed} = 15 500$ kW;

m_{qp} 为同步电动机平均启动转矩相对值, 该值为 1.1 m_{qd} , m_{qd} 为电动机启动转矩相对值, 西门子电机的该值为 0.65;

m_j 为机组静阻转矩相对值, 此高炉鼓风机负载静阻转矩相对值 $M_d / M_e = 9 870 N \cdot m / 98 683$

$N \cdot m = 0.1$;

由此计算得出:

$$t_q = 21.1 \times 1 500 \times 1 500 / \{365 \times 15 500 (0.659 \times 0.659 \times 1.1 \times 0.65 - 0.1)\} = 8.39 / 0.2105 = 39.85 S$$

此值与电机实际启动时间 40 S 基本一致。

3.3 实际启动数据

2004 年 6 月我们对 15 500 kW 电机进行了空载和带风机负载启动, 启动情况如下: 空载启动时: 启动电流 1 900 A, 启动时间: 19 S, 启动压降 13%。带载启动时: 启动电流 3 010 A, 启动时间: 39 S, 启动压降 21%。启动成功。

4 首秦高炉鼓风机电机采用液阻装置启动的技术特点

4.1 系统结构合理

10 kV 系统结构及配置合理, 尤其在电机启动方式与启动设备的选择上, 采用液态软启动装置进行降压启动, 科学、先进、合理。

4.2 稳定电网

降低了大电机启动过程中对电网的冲击, 使首秦 110 kV 供电系统能够安全、稳定、可靠的运行。同时也使电机在启动过程中不产生过热现象, 减缓了电机绕组绝缘老化过程, 延长了电机的使用寿命。

4.3 首次使用

在国内 10 kV, 14 000 kW 以上高压大电机启动设计及应用中首次采用液态软启动装置进行降压启动。

4.4 节省投资

液态软启动装置价格低、维护方便、检修容易, 节省了大量投资。

4.5 安全性

设置了过压、欠压、缺相、接地不良、启动超时保护, 采取了严格的接地及避雷保护, 并保证整个液态软启动产品的液阻箱体在启动开始前和结束后与高压电网分离。

4.6 液态电阻的可调整性

由于液态电阻可以很方便地根据不同的电机参数、负载特征现场调配适当的阻值, 而且采用



了 PLC 控制技术 & 电流闭环自动控制功能, 整个启动过程可跟踪启动电流或启动转矩的变化, 达到恒电流启动。

4.7 检测仪表的隔离性

液阻软启动装置设有数量传感器的, 用于诸如启动电流、电阻液温度、浓度、液面高度等电量和非电量的检测和输出, 同时作用到二次仪表或馈送到控制中心。

4.8 适应不同工况的能力强

在实际启动过程中, 该启动设备先后对两台不同功率、不同参数的国内外电机进行了启动, 均取得了满意的启动效果。

5 结论及需要注意的问题

首秦高炉鼓风机主电机采用液态软启动装置

启动结果是令人满意的。特别是由于更换了主电机, 各种参数都发生了很大变化, 但是, 该套软启动装置, 厂家通过调整各项相关参数, 仍较好地完成了电机的启动过程。如果当时设计采用变频器启动或自耦变压器等其它方式启动, 遇到此种情况将是很难解决启动问题的。所造成的后果将是非常严重的, 经济损失巨大。

关于电机启动过程需要注意的一些问题: 如投全压和投励磁的时机, 要结合电机厂家提供的数据, 合理选择投全压和投励磁时的转速值。

减少母线压降可通过充分利用电机的最长允许的启动时间, 加大液态软启动装置启动时的电阻值, 降低电机的启动电流, 但应满足使电机的端电压 u_{qd} 大于静阻转矩要求的电动机的电压水平相对值。

(上接 54 页)

R2 大转矩, 低转速交交变频的优势, 又克服了粗轧精轧全部采用交交变频需要安装 SVC 的不利因素。同时与全部采用 AFE 结构的交直交变频方案相比, 又具有一次性投资低, 后续备件价格低的优势。

2001 年, SIEMENS 公司曾在马钢的薄板坯连铸连轧的精轧机上采用过类似的组合方案, 收到了良好的效果。此次 SIEMENS 公司提出的在两段母线上采用组合方案还是首次, 该方案的正确性和可操作性还需要在今后的实践中进行检验。