

高空台气源站同步电动机控制、保护原理

燃气涡轮研究所 幸幼林

摘要 在SB101高空台气源站供、抽气系统中, DA3500型压气机由TDY12000型同步电动机带动。文章叙述了该电机变频起动、并网的详细控制过程及主要保护原理,并对关键控制元件的整定值进行了计算。

关键词 高空模拟试车台 同步电动机 控制 保护

1 前言

在高空台进行模拟试验时,要求供给发动机一定流量、压力和温度的压缩空气,并将其排出的燃气及时抽走,以保证供、抽气状态具有一定连续性。为此,驱动供、抽气压气机的各台大型电机必须安全运行。

SB101气源站10台DA3500压气机均用TDY12000同步电动机驱动,后者则用变频机组进行变频起动。这样既减小了对电力系统的冲击,又减轻了对电机本身定子绝缘的损伤。变频起动机组包括变频机组和变流机组两部分。变频机组由两台直流电动机(ZD120/47, 2070 kW)和一台同步电动机(TF-215/79-8, 5000 kW)构成;变流机组由一台同步电动机(TD-215/79-8, 5000 kW)和两台直流发电机(ZF120/47, 2200 kW)构成。变频电源(0~10 kV, 0~50 Hz)由两个回路分别给102-1、102-2气源站供电,通过21号和22号分控制室电机控制台集中同期屏(T1、T2和T3)的负荷开关5DL和9DL,接通或切断每个回路的变频电源线。(见图1)

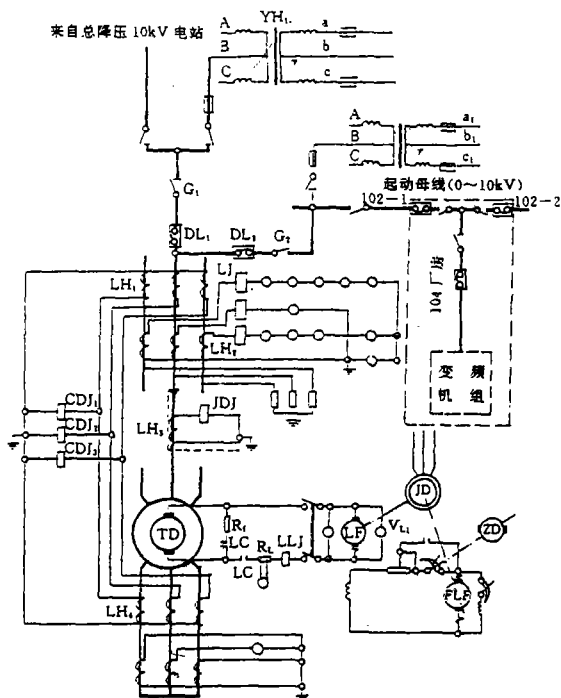


图1 电机主回路原理图

同步电动机概况:

功率:	12 000 kW
功率因数:	0.9
定子电压:	10 kV
励磁方式:	他励

收稿日期:1995-04-05

高空台气源站同步电动机控制、保护原理

49

3 相: 50 Hz

接法: Y

额定电流: 790 A

使用经验证明,电机的控制和保护方式可满足运行要求。

2 同步电动机控制原理

2.1 起动控制 (见图 2)

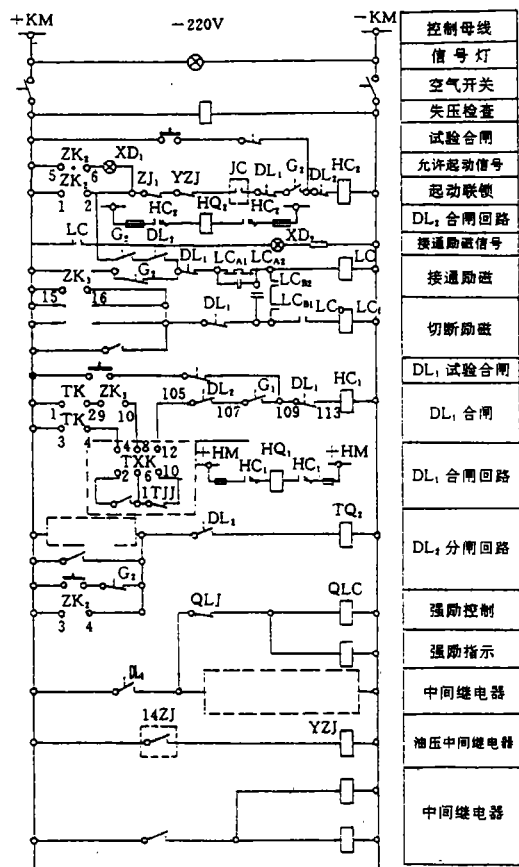


图 2 控制原理图

2.1.1 起动合闸

(1) 油泵电机起动后,油压 ≥ 0.15 MPa 时,触点 14ZJ 断开,油压中间继电器 YZJ 失电,常闭触点复位(导通);

(2) 起动柜隔离开关合上, G_2 常开触点闭合;

(3) 起动柜、运行柜真空开关均在断开位

置, DL_1 、 DL_2 常闭触点闭合;

(4) 无任何事故信号时,事故中间继电器 ZJ_1 失电, ZJ_1 常闭触点闭合;

(5) 起动开关 ZK_2 在中间位置, ZK_2 的 5、6 触点闭合;

(6) 高压顶轴油泵电机运行后,运行接触器常开,辅助触点 JC 闭合。

当满足前述 6 项条件时,起动联锁回路允许起动信号灯(绿) XD_1 亮。由于 XD_1 串接有 5 K 电阻,这时起动回路电流很小,接触器 HC_2 不能吸合。当 ZK_2 向左转动 45° (起动位置)时,其 1、2 触点接通,直流 220 V 全电压加在 HC_2 上,接触器 HC_2 吸合, DL_2 合闸回路中 2 个触点 HC_2 闭合。当合闸电源送电时,起动柜真空断路器合闸线圈 HQ_2 带电,在一瞬间将断路器 DL_2 合上, DL_2 常闭触点断开, HC_2 失电,但断路器靠本身的机械自锁保持闭合状态。

2.1.2 投入励磁

此时,接通励磁回路的 DL_2 常开触点闭合。由于 G_2 常开触点也已闭合,运行柜断路器在断开位置, DL_1 常闭触点仍在接通状态及 ZK_2 中 1、2 触点的导通作用,励磁接触器 LC 线圈带电,同步电动机励磁回路 LC 常开触点闭合,接通了励磁回路。另一常开辅助触点 LC 将励磁信号灯(红) XD_2 接通,同时常闭触点断开,将灭磁电阻回路切断。

由以上过程可知,同步电动机起动高压开关合上后,其转子绕组中便有励磁电流通过。试验证明,同步电动机经短时异步后即可拉入同步。变频电源部份可控硅未导通时,同步发电机 TF 发出的电压频率为 0.8 Hz。这时同步电动机的同步转速约为 48 r/min。所以同步电动机采用的是超低频同步起动方式。

2.1.3 控制变频电源并升速

按动电机控制台上的升速按钮,改变变频电源部份可控硅的导通角,以其整流输出

作为直流发电机(ZF)的励磁电流。继续改变导通角,直流发电机(ZF)将发出 $0\sim 630\text{ V}$ 的电压,驱动直流电动机并使其转速随之变化。同步发电机(TF)在直流电动机的变速带动及本身励磁系统的作用下,作为 $0\sim 10\text{ kV}$, $0\sim 50\text{ Hz}$ 的变频电源为气源站的同步电动机供电,后者从 48 r/min 同步升速至额定转速 3000 r/min 。电机端电压也逐渐升至 10

kV 左右。

在升速过程中,需随时监视变频机组主回路的电流,使之不超过 4 kA 。否则,电流继续增大,达到 4.5 kA 时,可控硅装置电枢电流反馈信号被限死,失去调节作用;达到 5.27 kA 时,变频机组主回路高速空气开关将跳闸,引起变频电源中断。

2.2 并网控制(见图3)

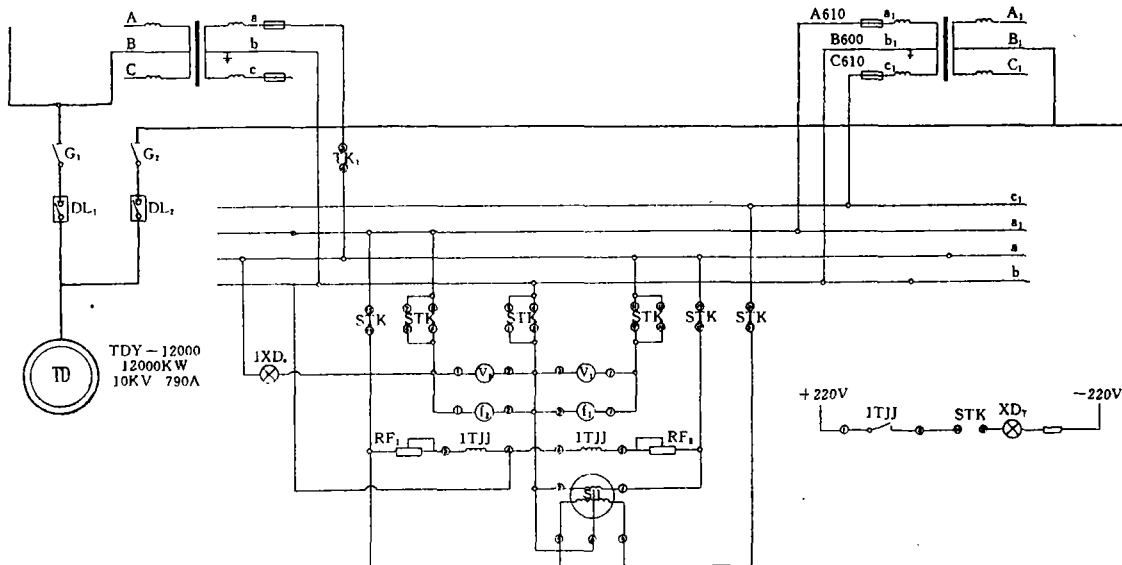


图3 并网同期原理图

同步电动机起动后,进行手动并网。并网之前,在 DL_1 合闸回路中,线号105至113之间已构成通路。转换开关 TXK 已转到对应机组,其内部触点 $2-4$ 、 $6-8$ 、 $10-12$ 闭合(TXK 代表 TXK_1 、 TXK_2 转换31~34号4台机组、 TXK_3 转换35~37号3台机组、 TXK_4 转换38、39、30号3台机组)。转换开关 TK 可手动或自动作用。手动并网时,将 TK 向左转动 45° ,内部1、2触点导通。运行开关 ZK_3 向左转动 45° 时,内部9、10触点导通。高压运行柜的真空开关是否能合上,取决于运行开关 ZK_3 闭合时,同步检查继电器 $1TJJ$ 的常闭触点是否复位(导通)。

在手动并网装置中,控制元件是同步检查继电器 $1TJJ$,同步显示则由整步表 SII 及

同步指示灯 XD_T (红)与 $1XD_A$ (红)完成。比较信号分别取自运行进线柜和起动进线柜的电压互感器,互感器副端 $b(b_1)$ 相均接地。

$1TJJ$ 为电磁式瞬时动作继电器。其磁系统两极上各装有一个由两个绕组组成的线圈,二线圈的各一个绕组互相串联。在并车装置中, $1TJJ$ 的2、8端分别与变频电源电压互感器二次回路 a_1 相和电网电压互感器二次回路的 a 相连接,4、6端则与 $b(b_1)$ 相并联(接地)。当变频电源电压与电网电压幅值相等(并网准备前已调整得基本一致;但根据并网原理,允许有一定差值)时,在 $1TJJ$ 的两个线圈中产生的电势差随着 a 相与 a_1 相的相位差的加大而增加,两个磁极不能抵消,同步继电器吸合,常闭触点断开;当 a 相与 a_1 相

的相位差减小,以至相位一致时,在 1TJJ 的两个线圈中产生的电势相等,内部的两个磁极相互抵消,同步继电器释放,常闭触点复位(闭合)。

(1)变频发电机(TF)与电网非同期并列(并网)时,发电机出口会发生三相短路事故,并导致定子绕组端部的绝缘和接头等部位受到不同程度的损坏。据有关资料介绍,在这种情况下,“根据多年运行经验,发电机转子的轴、定子的结构部件以及基础等没有发生过任何损坏”。但为了防止意外,需对变频电源和电网的非同期并列加以限制。所以同步检查继电器的动作角度需根据允许合闸的频率差进行整定。

(2)同期检查继电器的整定计算:

同期检查继电器在断路器两侧电压相位差角大于其动作角时起动;在相位差角小于其返回角时返回,此时,其常闭触点接通,允许发出断路器合闸脉冲。因此,理想的情况是,在同期检查继电器返回时发出合闸脉冲,合闸后断路器主触头在相位差为零时闭合。

因此, $b_h = f_s \cdot t_{dh}$

式中, b_h 为返回角; f_s 为频率差; t_{dh} 为断路器合闸时间(s)。

因 $b_h = K_h \cdot b_{dz}$

式中, K_h 为返回系数; b_{dz} 为动作角。

故, $b_{dz} = b_h / K_h = 360 f_s \cdot t_{dh} / K_h$ (°)

目前一般准同期允许频率差 $f_s = 0.1 \sim 0.4$ Hz

1TJJ 同步继电器型号为 DT-3, 则 $K_h = 0.8$

运行柜真空断路器型号为 ZN3-10 III, $t_{dh} < 0.15$ (s)

所以同步检查继电器动作角整定值应为:

$$\begin{aligned} b_{dz} &= 360 \times 0.1 \times 0.15 / 0.8 \\ &\sim 360 \times 0.4 \times 0.15 / 0.8 \\ &= 6.75 \sim 27 (^{\circ}) \end{aligned}$$

在实际使用中,102-1 同步继电器整定值为 15°;102-2 同步继电器整定值为 20°。由此可见,并网时均符合准同期允许频率差。

(3)手动准同期合闸时,由于断路器合闸回路无自保持接线,靠运行开关 ZK₃ 向左转动 45°时接通 9、10 触点,故断路器主触点闭合时相位角并不都是零,在最严重的情况下可等于 b_{dz} ,即 $6.75^{\circ} \sim 27^{\circ}$ 。

2.3 运行控制

达到并网条件后,在 DL₁ 合闸回路中,直流接触器 HC₁ 线圈带电,2 个 HC₁ 触点吸合;在 220 V 直流合闸电源送电的情况下,运行柜真空开关的合闸线圈 HQ₁ 带电,运行断路器在 ≤ 0.15 s 的时间内三相主触头同时合上,在机械机构的作用下,辅助触点中的所有常闭触点断开,常开触点合上,运行断路器靠本身的机械自锁保持闭合状态。

这时,按动电机控制台上的降速按钮,减小变频机组可控硅装置内可控硅的导通角,其整流输出降低,变频机组主回路电流下降;当正向电流从数 kA 降至 0 kA 时,负荷自动向电网转移,迅速将起动开关 ZK₂ 向右转动 45°,将其内部 3、4 触点接通,起动柜断路器跳闸线圈 TQ₂ 带电,在 ≤ 0.08 s 的时间内将起动真空开关断开。TDY12 000 同步电动机在电网电压的带动下进入正常运转状态。

2.4 强励控制

在电机正常运转过程中,如果电网电压因故降低,且低于额定电压的 85%时,强励继电器 QLJ 线圈两端的电压(通过 10 000/100 的电压互感器 YH1)将低于 85 V,QLJ 释放(整定值 85 V),常闭触点闭合。强励控制回路中,强励接触器 QLC 线圈带电,常开触点闭合。励磁系统的 FLF 副励磁发电机供电回路中磁场变阻器 2RL 被短接,LF 励磁发电机的励磁电流增大,发出的电压增加,同步电动机励磁电流增大,电动机强行励磁。电网电压恢复正常后,同步电动机励磁也恢复

正常。

2.5 停车控制

试验结束后,在压气机组退出供、抽气状态,使电动机负载电流降低至 0.25 kA 左右时,便可停止同步电动机的运行。

将运行开关 ZK₃ 向右转动 45°, 内部 13、14 及 15、16 触点接通, 分别控制 DL₁ 分闸控制回路和切断励磁回路。13、14 触点接通, 使运行断路器的跳闸线圈 TQ₁ 带电; 在 <0.08 s 的时间内将三相 10 kV 电网电压与同步电动机切断。15、16 触点接通, 励磁接触器线圈 LC 带电, 使机械结构松弛; LC₁ 带电, 使类似于插销的机构放开。手放开时, ZK₃ 自动返回中间位置; 15、16 触点断开时, LC 失电, 励磁回路常开触点由闭合而断开, 切断同步电动机的励磁。同时, 常闭触点由断开转向闭合, 将电机转子绕组两端短接, 使线圈两端的感应电势在灭磁电阻 R_f (1.6 Ω) 中释放。

切断同步电动机的动力电源和励磁电流后, 电机在惯性作用下, 运行一段时间后, 转子完全静止。

2.6 现场紧急停机

在同步电动机运行过程中, 可就地按动热工屏上的紧急停机按钮 BA₁。BA₁ 触点闭合, 信号继电器 XJ₁₇ 线圈带电, 常开触点闭合, 事故中间继电器动作, 实现紧急停机。BA₁ 的触点靠本身所带电磁线圈保持闭合状态。事故解除后, 按动解除按钮 JA₁, BA₁ 的线圈失电, 触点断开, 信号继电器解除现场紧急停机信号。

3 同步电动机保护原理(见图 4)

3.1 三相纵差保护

三相纵差保护装置: 由两个 LDCD-D/1 型电流互感器(LH₁、LH₄)和三个 BCH-2 型差动继电器(CDJ_{1~3})组成。LH₁ 装在电机进线端, LH₄ 装在电机绕组的尾部。当电机定子

高空台气源站同步电动机控制、保护原理

内部发生三相或两相短路事故或绕组匝间短路造成三相电流不平衡, 并达到一定严重程度时, 流过差动继电器的电流使其动作, 常开触点闭合。CDJ₁、CDJ₂、CDJ₃ 任一常开触点闭合均可使事故继电器 ZJ₁ 动作; ZJ₁ 的常开触点闭合, 使运行断路器跳闸线圈 TQ₁ 带电, 断路器瞬间断开, 停止同步电动机的运转。

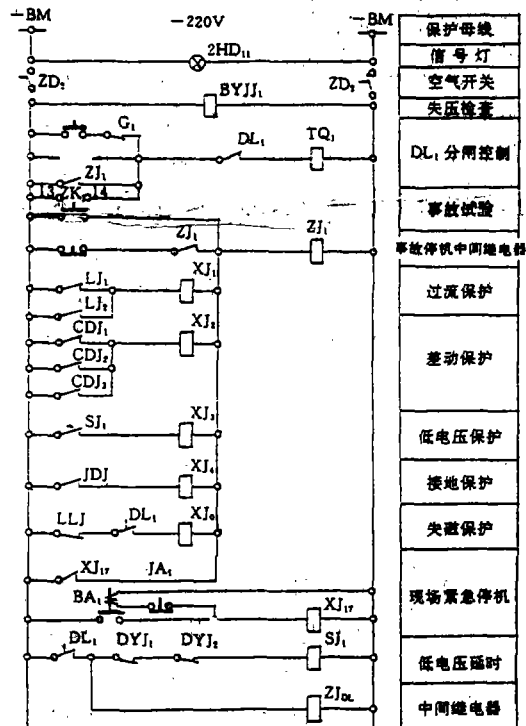


图 4 保护原理图

3.2 两相电流速断及过负荷保护

此装置由一个 LDCD-D/0.5 型电流互感器(LH₂)和两个 GL-22/10 型过电流继电器(LJ₁、LJ₂)组成。负荷过大时, 电机电流增加, LH₂ 感应电流超过 6A 时, 过流继电器(LJ₁、LJ₂)动作(整定值为 6.0 A), 常开触点闭合, 使有关事故跳闸元件动作, 停止同步电动机的运行。

3.3 单相接地保护

LJ-7 型零序电流互感器(LH₃)和 DL-11/0.2 型电流继电器(JDJ)配套使用达到保

护目的。DD-11/0.2 型电流继电器整定电流值为 100 mA。系统正常运行时,通过零序电流互感器一次线圈的是三相电容电流的矢量和,其值近似为零,即 $I_A + I_B + I_C \approx 0$ 。此时,零序电流继电器处于非动作状态。当电力系统某点发生接地故障时,三相电容电流的矢量和超过电流继电器(JDJ)的整定值。并带动事故继电器动作。

3.4 低电压保护

此装置由两个 DJ-122/160 型电压继电器(DYJ₁、DYJ₂)和 DS-113 型时间继电器(SJ₁)组成。当电网电压低于额定电压的 50% 时,电压继电器释放,两个常闭触点复位(接通),低电压延时回路中的时间继电器(SJ₁)开始工作;9 s 后,若母线电压不恢复正常,则时间继电器延时触点闭合,使事故继电器工作。

(上接第 48 页)

器的误差,环境条件引起的误差,温漂零漂引起的误差及电源与各种干扰引起的误差等。有关诸类误差的分析处理可参阅其他资料,如说明书、检验单、校准曲线等。只有对这些因素都加以考虑,并按照有关的合成理论求得整个测量的总误差后,全部误差处理与计算工作才算结束,而这个合成后的总误差恰恰就是测量数据的精度。

表 2 中系统总误差栏的数据是根据中、俄两国专家共同商定的误差合成公式计算出来的。即:

$$\Delta S = \pm K \left[\sum_{i=1}^n (\Delta S_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

式中, ΔS 为测量系统总误差; ΔS_i 为各个测

3.5 失磁保护

失磁保护装置由串接在励磁回路中的 JT3-22/L 型欠电流继电器(LLJ)组成。LLJ 释放值为 45 A。励磁电流大于 45 A 时,电流继电器 LLJ 吸合,常闭触点断开,失磁信号解除;励磁电流低于 45 A 时,LLJ 释放,常闭触点复位,失磁保护回路中触点 LLJ 接通,事故继电器带电动作,停止电机运行。

参 考 文 献

- 1 谢承鑫,王立昌,沈景霖.工厂常用电气设备手册.北京:水利电力出版社,1991
- 2 施琉龄,郭家榕,赵光华.水电站机电设计手册.北京:水利电力出版社,1989
- 3 张士林,屈文莺.电工手册.北京:石油工业出版社,1992

量环节引起的误差;K 为经验常数。

6 计量标定结论

计量标定结果表明,高空台数据系统的测量精度优于设计指标,可完全满足各种试验的要求。同时,俄罗斯 LUTAM 专家也充分肯定了计量标定的结果,一致认为该系统完全符合高空台对比试验的测试要求。这对完成高空台标定试验,交付国家验收无疑提供了有力的支持。总之,一个高精度、高可靠性的测试系统对维护高空台试验的权威性是必不可少的。