

· 技术改造 ·

# 励磁系统改造过程中重要元部件 参数基础设计计算方法

段宏全

(北京京能热电股份有限公司,北京 100041)

**摘 要:**介绍了石景山电厂汽轮发电机组由原交流励磁机励磁系统换型为静止自并励励磁系统的改造工作中,励磁系统中重要元部件参数的设计计算方法和二次控制监视回路的设计方法。

**关键词:**交流励磁机励磁系统;自并励静止励磁系统;参数设计计算

**中图分类号:**TM621.3 **文献标识码:**B **文章编号:**1003-9171(2010)05-0021-04

## Basic Design and Calculation Methods of Important Components' Parameters in Renovation of Excitation System

Duan Hong-quan

(Beijing Jingneng Thermal Power Co. Ltd., Beijing 100041, China)

**Abstract:** This paper introduced design and calculation methods of important components' parameters in excitation system, and design methods for secondary control monitoring circuit, as the AC exciter system of turbo-generator in Shijingshan Power Plant was renovated into self-excited static excitation system.

**Key words:** AC exciter excitation system; self-excited static excitation system; parameter design and calculation

### 0 引言

北京石景山热电厂(以下简称石热)4号机组为1995年投运的200 MW火电机组,原机组为交流励磁机励磁方式。基本情况如下。

**主励磁机:**东方电机厂1994年产品,型号JFL-1140-4,额定容量1140 kVA;额定电压410 V,额定电流1600 A,功率因数0.92,额定频率100 Hz,绝缘等级B级。

**副励磁机:**东方电机厂1994年产品,型号TFY-75-400,额定容量75 kVA;额定电压180 V,额定电流240 A,额定功率因数0.875,额定频率400 Hz,绝缘等级B级。

运行中机组励磁系统存在一些缺陷和问题,主励磁机、副励磁机、励磁功率整流柜在夏季负荷较大时经常出现过热现象。励磁机温升试验表明,按京能公司计划,当机组增容到220 MW后,主励转子平均温升将达68.75 K(限值70 K,冷却器已改进),副励定子温升在75 K以上(限值80 K)。夏季大负荷期间机房环境温度将高达45℃以上,上述设备温度将达到或超过温度限值,为机组的稳定

运行埋下重大隐患。针对以上情况为了保障机组的稳定运行决定对机组励磁系统进行改造。

### 1 机组励磁系统改造方案选择

石热4号机组原励磁系统主接线如图1所示。

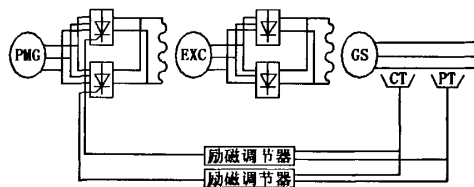


图1 交流励磁机励磁系统图

励磁系统主要由副励磁机、励磁调节器、主励磁机、功率整流柜组成,电源来自副励磁机的交流励磁机静止不可控整流励磁系统。该励磁系统的励磁电源独立,具有不受电力系统运行情况变化影响的优点。缺点在于交流励磁机电枢反应压降大,在发电机近段发生短路故障时会造成强励能力不足,其次由于励磁机时间常数较大,会减慢励磁系统反应速度。

目前,一般新建机组均采用自并励静止励磁系统,其回路主接线如图2所示。

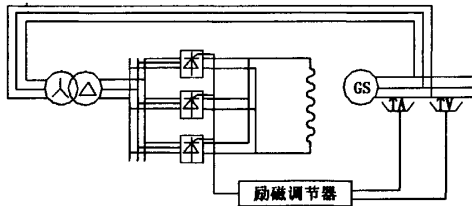


图2 自并励静止励磁系统图

该系统主要由励磁变压器、功率整流柜、励磁调节器组成。该系统反应灵敏调节速度快,有利于提高发电机运行的小信号稳定和电压稳定。在发电机近端短路时,采用该励磁系统的发电机供给的短路电流衰减较快,对继电保护会有一定影响,需要继电保护采取相应措施。

根据石热机组励磁系统的情况,可以采取改造主、副励磁机、整流柜的方式,仍然采取原来的交流励磁机励磁方式;也可拆除原励磁设备加装励磁变压器、功率整流柜改造为自并励静止励磁系统。考虑到资金、技术,以及对机组轴系的稳定作用等因素,经过调研决定将机组原交流励磁机励磁系统改造为自并励静止励磁系统。

## 2 设备选型

在机组的励磁方式确定后,需要对改造所需设备进行选型,选择与机组性能和系统要求相符合的设备是保证设备投入后机组安全稳定运行的重要条件之一。

### 2.1 对励磁变压器的要求

#### 2.1.1 变压器二次侧电压的选择

变压器二次侧电压的选择原则应考虑在一次电压为80%额定电压时仍能满足2.0倍强励要求:

$$V_2 = \frac{U_{ic}}{0.8 \times 1.35 \times \cos\alpha_{\min}} = \frac{2.0 \times 453}{0.8 \times 1.35 \cos 5^\circ} = 842 \text{ V} \quad (1)$$

考虑换弧压降,实际选择变压器二次侧电压适合选择为850 V。

#### 2.1.2 变压器额定容量的选择

在调研中发现,由于励磁变压器容量选择偏小造成的运行问题是比较突出的,变压器容量的选择应当满足1.1倍额定励磁电流下长期运行的要求,根据公式(2)、(3)计算:

$$S = \sqrt{3} U_2 I_n = \sqrt{3} \times 850 \times 1.1 \times I_{fn} \times 0.816 \quad (2)$$

$$= \sqrt{3} \times 850 \times 1.1 \times 1749 \times 0.816 = 2311 \text{ kVA} \quad (3)$$

其中  $S$ ——三相变压器容量;

$U_2$ ——变压器二次电压;

$I_{fn}$ ——机组增容后发电机额定励磁电流值。

根据以上计算结果,综合体积、维护成本等因素应该选用容量等于或大于2311 kVA的环氧树脂浇注式干式变压器。最终,考虑一定的安全裕度情况下,选择励磁变压器的容量为2500 kVA。

#### 2.1.3 励磁变压器电流互感器的选择

##### (1) 一次电流计算

根据励磁变压器原边电压为15.75 V,副边电压为850 V,容量为2500 kVA。

变压器原边电流

$$I_1 = S / (\sqrt{3} U_1) = 2500 / (\sqrt{3} \times 15.75) = 92 \text{ A}$$

##### (2) CT选择

考虑设备在额定运行时CT的二次侧电流适宜在3~4 A之间,且满足强励工况下二次侧电流测量的范围,因此变压器原边选择150 A/5 A的CT比较适合。

### 2.2 对功率整流柜的要求

2.2.1 按电力行业励磁系统标准要求,自并励静止励磁系统功率整流柜应满足 $N-1$ 的设计原则,在一面功率柜因故障退出运行的情况下余下功率柜应当满足包括强励在内的所有功能。

晶闸管整流桥中并联支路数根据 $N-1$ 的原则考虑冗余,即多个整流桥中单桥故障时能满足包括强励在内的所有功能。同时保证并联支路均流系数不小于0.97。

石热4号发电机的额定励磁电流最大1749 A,1.1倍额定励磁电流为1923 A,使单个整流柜额定输出电流为2000 A或以上,那么两个功率柜便可以满足1.1倍励磁电流长期运行和短时强励要求。

最终,综合考虑系统运行的可靠性和冗余度的要求,选择单柜额定容量为2000 A的3个整流柜并联运行。

#### 2.2.2 对于单个可控硅的要求

反向峰值电压计算:

元件反向重复峰值电压应大于每臂元件承受的最大反向电压:

$$U_{RRM} > K_u K_{cg} K_c U_{ARM} \quad (4)$$

其中  $K_u$ ——过电压裕度系数,一般取2.0;

$K_{cg}$ ——过电压冲击系数,一般取 1.50,现取 1.50;

$K_e$ ——电源电压升高系数,一般取 1.00 ~ 1.10,现取 1.10;

$U_{ARM}$ ——桥臂反向工作电压最大值,为 $\sqrt{2}$  × 励磁变压器副边电压(850 V);

由此,可算出:

$$U_{RRM} > 2.0 \times 1.5 \times 1.1 \times \sqrt{2} \times 850 = 3\ 966\ \text{V} \quad (5)$$

### 2.2.3 对于快速熔断器的要求

#### (1) 快速熔断器额定电压计算选择

快速熔断器的额定电压应大于励磁变压器低压侧电压,计算后得出的励磁变压器低压侧电压为 850 V,因此可以选用额定电压为 1 000 V 的快速熔断器。

#### (2) 快速熔断器额定电流计算选择

快速熔断器的额定电流(有效值)可按式(6)进行计算:

$$I_R \leq (I_{RN} = I_R \times K = I_{fml} \times 0.577 \times K) \leq I_T \quad (6)$$

其中  $I_R$ ——额定励磁时流经每个晶闸管元件的电流有效值  $I_R = I_{fml} \times 0.577$ ;

$I_{fml}$ ——单柜额定励磁电流值,取发电机额定励磁电流 1 749 A;

$K$ ——综合系数,为裕度系数、散热经验系数、风速修正系数、环境温度系数的综合,常取 1.3 ~ 1.5,为了保证可靠性可以取 1.5;

$I_T$ ——晶闸管元件通态平均电流值。

根据计算得熔断器额定电流  $I_{RN}$  为 1 513 A,实际选熔断器额定电流可以选择 1 800 A。

### 2.3 对灭磁及过电压回路元件的要求

发电机转子系统产生的过电压工况有多种,最常见的有:(1) 灭磁过电压:此种过电压时间短,能量集中;(2) 转子正向过电压;(3) 电源侧换相尖峰过电压;(4) 非全相及大滑差过电压。改造所选择的设备需要有一个完备的保护方案对上述各种过电压都具备保护功能。

对于灭磁保护器残压的选择,按照 IEC 规定,其荷电率不得大于 0.75。并且在转子绝缘允许的条件下,使灭磁速度最快。灭磁保护器的能量按机组空载最大灭磁能量选择。

根据石热发电机参数及以上设计原则,主要元器件的参数计算如下:

#### (1) 灭磁非线性电阻 FR1:

$$U_{FR} = 4 \times U_{lc} = 4 \times 453 = 1\ 812\ \text{V}, U_{10mA} = U_{FR} / 1.5 = 1\ 208\ \text{V}$$

$$\cos \alpha = U_d / U_{ac} / 1.35 = 160\ \text{V} / 850\ \text{V} / 1.35 = 0.14, \alpha = 82^\circ$$

$$U_{min} = \sqrt{2} U_{ac} \sin(\alpha + 120) = -450\ \text{V}$$

反向荷电率:

$$K = |U_{min}| / U_{10mA} = |-450| / 1\ 208 = 0.37 < 0.75$$

#### (2) 灭磁容量选择计算:

按发电机空载误强励计算转子绕组的最大储能灭磁容量  $W$  可由下式计算:

$$W = 5 \times 0.5 I_{f0}^2 T'_{d0} R_f k = 0.49\ \text{MJ} \quad (7)$$

其中  $I_{f0}$ ——发电机空载励磁电流/A,此处为 600 A;

$T'_{d0}$ ——直轴瞬变开路时间常数(s),此处取 7;

$R_f$ ——转子绕组电阻  $115^\circ\text{C}/\Omega$ ,  $U_{fn}/I_{fn}$ , 此处为 0.26;

$k$ ——机组特性系数,一般火电取 0.3。

最后,按 1.5 倍的裕度考虑,结果取 0.75 MJ。

### 2.4 对于起励系统的要求

根据石热的电源分配情况适宜采用交流起励方式,起励电源取自厂用交流 380 V 三相电源,经降压变压器后,通过三相不可控整流桥整流为直流电压,送至发电机转子绕组。

在正常条件下,应保证起励电源的输出电流能使发电机电压达到 10% 额定以上。石热 4 号机组的空载额定电流约为 600 A,即起励电流为:  $600 \times 10\% = 60\ \text{A}$

#### (1) 起励时的转子电压按式(8)计算:

$$V_{OL} = I_{OL} \times R_z = 60 \times 0.26 = 15.6\ \text{V} \quad (8)$$

其中  $V_{OL}$ ——起励时的转子电压;

$I_{OL}$ ——确定的起励电流;

$R_z$ ——转子电阻  $U_{fn}/I_{fn}$ , 此处为 0.26。

#### (2) 起励变压器的副边电压按式(9)计算:

$$U_2 = V_{OL} / 1.35 = 15.6 / 1.35 = 11.6\ \text{V} \quad (9)$$

其中  $V_{OL}$ ——起励时的转子电压;

1.35——三相整流电路的整流系数;

$U_2$ ——起励变压器副边电压计算值。

选取起励变压器的副边电压时考虑起励时整流桥电压损失,实际可取 15 V。

#### (3) 起励变压器的容量按(10)式计算:



图3 机组升压并网程序框图

$$\begin{aligned}
 W_{\text{QLB}} &= 1.35 \times U_2 \times I_{\text{QL}} = 1.35 \times 15 \times 60 \\
 &= 1\ 215\ \text{VA}
 \end{aligned}
 \quad (10)$$

实际选取起励变压器的容量可以略大于计算值。

### 3 励磁系统设备的监视与控制

#### 3.1 励磁系统的监视信号

励磁系统设备安装后,其运行状态需如实反映到运行人员的控制界面中,其次当励磁系统异常时,其故障信息也应能全面正确传达给运行人员。因此,在改造中将励磁系统的信号、运行状态以开关量和模拟量形式引入了 DCS。考虑到励磁变压器温控箱所处环境恶劣以及厂房内电磁干扰较强,经过电缆长距离传送后掉闸信号的正确性难以得到保证。因此取消了温度控制器的掉闸功能。除将温度报警信号与其他励磁系统报警信号一起引入 DCS 外,另外设计了模拟量输入回路将励磁变压器铁心温度引入励磁系统主回路画面,使运行人员可以实时对励磁变压器的温度进行监视。

#### 3.2 励磁系统的控制

在 DCS 中设置了灭磁开关合跳闸、励磁系统起励、逆变灭磁、信号复归等操作端,完成了对励磁系统的控制。并将励磁系统控制与原机组自动升压并网程序相衔接。

在运行人员确认后机组升压并网的程序框图如图 3 所示。

经过上述程序设置大幅度降低了运行人员在机组升压并网时的操作量,操作基本由 DCS 完成,从而降低了运行人员出现误操作的可能,提高

了机组运行的安全性。

## 4 结论

在 4 号机组励磁系统改造工作中,各个重要元件的参数通过以上的计算选择,在改造后的实际应用中能够满足发电机励磁各种工况的要求,运行稳定可靠。励磁系统的二次监视和控制逻辑回路的设计,在实际应用中也满足了运行人员的正常监视和操作。

### 参考文献

- [1] 李某成. 现代同步发电机励磁系统设计及应用[M]. 北京:中国电力出版社,2002.
- [2] 竺上章. 发电机励磁系统试验[M]. 北京:中国电力出版社,2005.
- [3] 许正亚. 电力系统自动装置[M]. 北京:中国电力出版社,1992.
- [4] 能源部西北电力设计院. 电力工程电气设计手册[M]. 北京:中国电力出版社,1991.
- [5] 郝满江, 黄梅. 发电机励磁方式及自并励励磁系统[J]. 东北电力技术, 2004, 25(11).
- [6] 冯桂青. 静态励磁系统的灭磁[J]. 电机与控制应用, 2006, 33(1).
- [7] 许其品, 朱晓东, 刘国华. 大型发电机励磁系统的设计[J]. 水电厂自动化, 2009, (4).
- [8] 郭志敏, 李军义. 机端自并励静止励磁系统的应用[J]. 内蒙古电力技术, 2004, (4).

收稿日期:2009-12-28

作者简介:段宏全(1978—),男,毕业于北方交通大学,工程师,从事继电保护和自动装置现场工作。

(本文编辑 季佳彬)

(上接第 16 页)

地板作用分析[J]. 中国电力, 2000, 33(5): 62-65.

[3] 李景禄, 胡毅, 刘春生. 实用电力接地技术[M]. 北京:中国电力出版社, 2001.

[4] 大矢征, 张峥, 等. 有斜打接地棒的接地网的接地电阻及其地面电位分布[J]. 广西电力建设信息, 1994, 3: 20-24.

[5] 何金良, 曾荣, 张波. 斜接地板对改善接地网接地性能的作用[J]. 陕西电力, 2008, 36(3): 1-4.

[6] 李承国, 何金良, 曾嵘, 等. 利用周边地理环境降低城

区变电站接地电阻[J]. 中国电力, 2001, 34(11): 50-53.

[7] 安建强, 何金良, 孟庆波. 爆破接地技术在地网改造中的应用[J]. 电力建设, 2000, 21(4): 17-20.

[8] 川瀨太郎(冯允平译). 接地技术与接地系统[M]. 北京:科学出版社, 2001.

收稿日期:2010-02-19

作者简介:王冬梅(1971—),女,河北唐山人,大学学历,华北电力大学电气工程在职研究生,高级工程师,研究方向电力系统及其自动化。

(本文编辑 季佳彬)