

荆门热电厂 4 号机励磁回路技术改造

徐挺进

(国电长源荆门热电厂,湖北 荆门 448040)

摘要: 现场试验和运行经验显示荆门热电厂 4 号机励磁回路存在灭磁开关运行不可靠的问题。线性电阻灭磁易在转子上产生高电压,灭磁时间长,而转子过电压保护效果又较差,针对以上问题,进行了相关设备的技术改造,采用氧化锌(ZnO)非线性电阻灭磁。介绍了基于高能 ZnO 电阻的过电压保护器工作原理,结合 ZnO 电阻性能、灭磁装置和转子过电压保护的相关技术要求总结了灭磁系统技术参数的选择、计算方法。现场发电机空载和短路试验情况下灭磁试验表明,该项改造达到了预期效果。

关键词: 热电厂; 励磁回路; 氧化锌电阻; 灭磁

中图分类号: TM 621.7

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2006)09-0101-03

现代大型发电机多采用单元式接线,为降低发电机、变压器及高压引出线故障所造成的损害,要求发电机在故障情况下能快速灭磁。对发电机组灭磁的主要技术要求是:在保证断流灭磁中转子电压不超过绝缘长期安全稳定运行允许值的条件下,灭磁时间尽可能短^[1]。但荆门热电厂 4 号发电机在运行中出现了数次停机时灭磁开关断不开、开机时合不上的故障,经过相关设备改造,采用氧化锌(ZnO)非线性电阻灭磁,从而保证了机组的运行可靠性。

1 改造的必要性

荆门热电厂 4 号机为 200 MW 机组,发电机型号为 QFQS-200-2,额定转子电流 1763 A,额定转子电压 445 V,哈尔滨电机厂生产,中南电力设计院设计,投产于 1982 年 12 月,励磁方式为传统的三机交流励磁方式,励磁回路接线如图 1 所示^[2]。

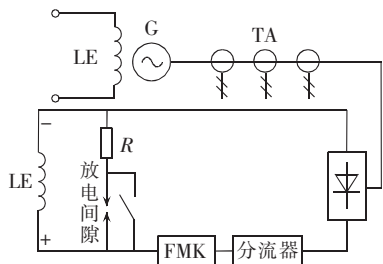


图 1 改造前的励磁回路接线图

Fig.1 Exciting circuit before retrofitting

励磁回路接线及设备存在几方面的问题。

a. 原灭磁开关 FMK 为早期 DM2-2500/60 型。该种灭磁开关动作很不可靠,在事故情况下,若灭磁开关不能可靠跳闸灭磁将对发电机造成很大的损害;另外,该种开关结构复杂,不易调整,运行一定年限后难以保证技术性能。而且,该开关小电流灭弧能力差,在转子电流小于 600 A 时不能可靠灭弧。

b. 励磁回路采用线性电阻灭磁。在转子磁场能量很大时,转子易出现高电压,灭磁时间长;转子过电压保护采用间隙保护,间隙保护定值离散性大;容量小,过电压保护效果差,而且间隙保护易损坏,损坏后也不易发现,而使转子发生无过电压保护情况。

c. 转子过电压保护仅是对发电机转子的保护,在灭磁开关跳闸后对励磁回路电源侧即硅整流回路没有保护。

2 改造情况

荆门热电厂 4 号机在 1999 年大修中进行了增容改造,容量由原来的 200 MW 增至 220 MW,改造后的发电机额定转子电流 1884 A,额定转子电压 462 V,空载励磁电流 672 A,同时励磁方式改为两机一变(去除副励磁机,交流励磁机的励磁电源由发电机出口电压经励磁变压器后获得,自动励磁调节器控制晶闸管触发角,以调节交流励磁机励磁电流,交流励磁机输出电压经硅二极管整流后接至发电机转子),如图 2 所示(图中 TE 为励磁变压器)。在 2005 年 6 月,4 号机灭磁开关及励磁回路也作了相应的改造,改造后的励磁回路接线如图 3 所示^①。

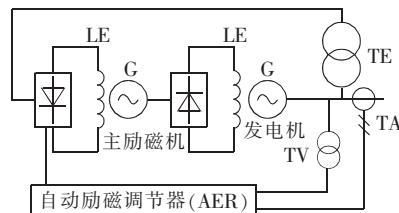


图 2 交流励磁机系统接线原理图

Fig.2 Connection diagram of AC exciter

新的回路接线与原接线从设备配置到原理接线存在多方面的较大变化。

a. 图 3 FMK 处采用专门为灭磁装置设计的

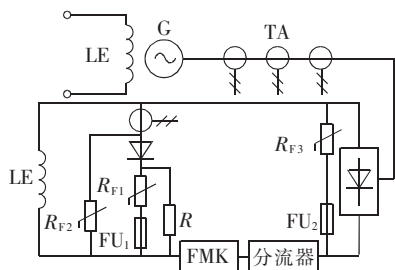


图 3 改造后的励磁回路接线图

Fig.3 Exciting circuit after retrofitting

ABB-E3H 直流断路器,这种新型磁场断路器结构紧凑合理、体积小、重量轻、结构简单、动作灵敏、建压能力较强、开断电流大,同时操作方便且动作可靠;在小电流下也能可靠动作。由于其触头由银合金材料制成,耐弧性能好,并具有新颖的分闸和灭弧机构,从而具有很强的建弧断流能力,可靠性大幅提高。当用 E3H 系列与 ZnO 电阻配合进行灭磁时,可以分断任意大小的电流,特别是克服了原灭磁开关小电流灭弧能力差,在转子电流小于 600 A 时不能可靠灭弧的不足^[3]。

b. 用高能非线性 ZnO 电阻 R_{F1} 代替原线性电阻。正常运行时,由于 R_{F1} 回路串有反相二极管,回路没有电流通过。灭磁开关跳闸时,励磁线圈产生的反向电势将通过二极管和 R_{F1} 回路,将励磁能量消耗在 R_{F1} 上,从而使发电机迅速灭磁。由于 R_{F1} 有良好的非线性特性,因此,在发电机灭磁时,发电机转子电压被限制在安全范围内,有效地保护了发电机励磁线圈的安全。

c. 增加了励磁回路电源侧过电压保护电阻 R_{F3} 。由于 R_{F3} 接在励磁回路电源侧,在灭磁开关跳闸时,因电源侧线路电感贮存的能量将消耗在 R_{F3} 上,从而达到保护励磁回路电源侧设备免受电压损害的目的,克服了原回路励磁回路电源侧没有保护的弊端。

d. 用高能非线性 ZnO 电阻 R_{F2} 代替原间隙过电压保护,正常运行时, R_{F2} 、 R_{F3} 均接入回路运行,共同起到励磁回路过电压保护作用。由于励磁电压一般在 500 V 以下, R_{F2} 、 R_{F3} 在正常运行时仅有很小的漏电流,并不影响机组的正常运行。当外来高压侵入励磁回路时,由于 R_{F2} 、 R_{F3} 良好的非线性特性,发电机转子电压也被严格限制在安全范围内,起到了发电机转子过电压保护作用^[4-5]。

3 转子过电压保护的原理

转子灭磁电阻 R_{F1} 及转子过电压保护电阻 R_{F2} 、 R_{F3} 的工作原理都是基于高能 ZnO 电阻良好的非线性特性。ZnO 电阻的伏安特性如图 4 所示。

可分为 2 个区域: I 为小电流区, II 为大电流区。在小电流区域,流过压敏电阻的电流极小;在大电流区,尽管电压变化很小,电流从毫安到数百安之间变化。正

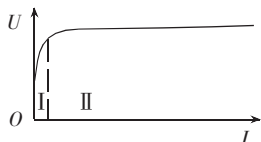


图 4 压敏电阻的伏安特性

Fig.4 Volt-ampere characteristic of voltage-sensitive resistor

常工作时,压敏电阻工作在小电流区域,流过压敏电阻的电流仅为数百个微安,这样既不消耗能量,也不影响被保护对象的工作状况。一旦有过电压侵袭,没有延时的压敏电阻立即过渡到大电流区,过电压得到限制并被吸收,被保护对象得以安全。高能压敏电阻是氧化锌电阻的一种,其主要特点是能容大、响应速度快。单片标称能容为 20 kJ,转折电压 U_{10mA} 一般在 450~600 V,响应延时约为 100 μs 。另一个衡量压敏电阻的指标为残压比 $K_C = U_{60mA} / U_{10mA}$ 。对于高能压敏电阻片, $K_C < 1.5$ ^{①②}。

4 主要技术参数选择计算

4.1 非线性灭磁计算

根据文献[6]关于灭磁装置和转子过电压保护的相关技术要求,下面介绍非线性灭磁计算方法。

转子绕组试验电压 $U_s = 10 U_{Le}$, U_{Le} 为额定励磁电压;灭磁时最大允许电压 $U_{max} = 0.5 \sqrt{2} U_s$,即非线性电阻 U_{60A} 值;灭磁时最小电压 $U_{min} = 0.3 \sqrt{2} U_s$,即非线性电阻 U_{10mA} 值,同时应满足 $U_{10mA} \geq \sqrt{2} U_2 / 0.6$;根据 $U_{10mA} = U_{60A} / K_C$ ($K_C = 1.4 \sim 1.5$,为灭磁电阻残压比),合理选取非线性电阻的电压参数。

发电机空载额定转时转子总能量 $J_0 = (1/2) L I_0^2$, L 为转子电感, $L = R_L \tau'_{do}$, $R_L = (235 + 75) R_L t / (235 + t)$ 为 75 $^{\circ}C$ 时转子电阻值, τ'_{do} 为发电机定子开路时的转子时间常数。最大灭磁能量(发电机空载误强励) $J_M = 4 J_0$ 。非线性电阻消耗能量一般为总能量的 70%,并且应能承受连续 2 次灭磁动作,故其总能量 $J_{NR} = 2 \times 0.7 J_M$,均能系数选为 0.9,则总能量 $J_N = J_{NR} / 0.9$;要求退出 80% 仍能保证最大灭磁能量,则最终的非线性电阻能量为

$$J = J_N / 0.8 = 3.9 \tau'_{do} R L I_0^2$$

4.2 实际技术参数选择

高能 ZnO 电阻的最大电压一般应为励磁额定电压的 4~6 倍,电压太低易造成发电机失磁;但电压也不宜太高,最高不得高于励磁绝缘耐压的 70%,电压过高易导致发电机转子绝缘损坏^[6-7]。根据上述公式计算后,实际选择 4 号机 $R_{F1} \sim R_{F3}$ 的最大电压 U_{60A} 分别为 1250 V、1750 V、1400 V。各元件的漏电流是指 $1/2 U$ 、0.01 A 下的电流,应小于 50 μA , $R_{F1} \sim R_{F3}$ 的实测最大漏电流分别为 6 μA 、3.4 μA 、4.3 μA 。

高能 ZnO 电阻 R_{F1} 应有足够的能量裕度,以保证发电机转子不会因为部分 ZnO 阀片损坏而致绝缘损坏。实际选择标称能量为 0.96 MJ,裕度选择很大,即使在不超过 $1/2$ 退出运行的情况下仍不会影响装置的正常运行。

①合肥凯立电子有限公司。大型发电机组转子电压及其保护, 1999。

②国电自动化研究院。同步发电机励磁系统培训教材, 2004。

5 现场试验情况

为检查该装置的实际灭磁效果,利用发电机大修后空载和短路试验进行发电机灭磁情况下的转子电压录波试验。

5.1 空载额定电压下灭磁录波试验

试验时励磁电流为 690 A,励磁电压为 110 V。由录波图可知:在拉开灭磁开关后,转子绕组电流在 50 ms 内从 690 A 很平稳的逐步衰减到零;发电机转子绕组电压由空载励磁电压变为反向电压,在约 19 ms 时上升到最大值 1 075 V,在之后约 30 ms 有抖动,随后平稳衰减,1 s 后衰减至 180 V,有效地将转子电压限制在安全范围内,且灭磁速度很快;灭磁开关弧压在约 19 ms 时上升到最大值 1 265 V,其变化同转子绕组电压。曲线发生抖动的原因是由于空载灭磁能量较小,灭磁开关建压不够高,施加到 R_{F1} 上电压未达到灭磁电压 1 250 V,灭磁能量主要由灭磁开关在建压过程中吸收。

5.2 发电机定子试验

发电机定子出口三相短路,定子电流升至额定值时的试验励磁电流为 1 260 A,励磁电压为 253 V,在拉开灭磁开关后,转子绕组电流在 60 ms 内从 1 260 A 很快衰减到零;在 16 ms 左右发电机转子绕组电压及灭磁开关弧压均上升到最大值,灭磁开关弧压最大值约 1 463 V,绕组电压约 1 265 V,在之后约 25 ms 波形较平坦,略向下倾斜,随后像 ZnO 电阻伏安特性曲线样衰减,约 500 ms 转子绕组电压就已经衰减到零,灭磁速度很快。因灭磁能量较大,灭磁开关建压很快,主要能量为 R_{F1} 吸收。

6 结论

通过励磁回路的改造,解决了原灭磁开关小电流灭弧能力差,转子电流小于 600 A 时不能可靠灭弧的不足,提高了灭磁开关运行可靠性;用高能非线性 ZnO 电阻(R_{F1})代替原线性电阻,通过合理的计算配置使灭磁速度快,不产生转子过电压,可靠保证了发电机运行安全,在试验中也得到了验证。同时,本文提供了关于非线性电阻灭磁参数的实用计算方法,可作为设备改造、选型时的参考。

同时,实际运行中还需注意几个问题。

a. ABB-E3H 灭磁开关是由交流开关增加灭弧栅等改造的直流断路器,除前述优点外,价格相对其他进口灭磁开关如 UR、PHB 等便宜很多,其缺点是建压能力同 UR、PHB 等比较则相对较弱,不适合在二极管整流的大型机组上使用。建议在运行中经过一次事故灭磁后,应当测量主触头直流电阻,检查其触头情况,其主触头直流电阻宜小于 200 $\mu\Omega$,否则,应处理或更换。

b. 灭磁电阻是由 20 个支路 ZnO 电阻并联而成,每条支路均串有 1 只快熔保险。如上所述,快熔保险对防止 ZnO 电阻损坏而致励磁回路短路,保证机组正常运行是很重要的,但是这种快熔保险熔断时,仅由该保险本身发熔断信号,没有中央信号,运行人员不易及时发现。因此,要求运行人员加强巡视检查,特别是在每次灭磁电阻(R_{F1})事故灭磁后,对上述保险作检查,以便及时发现及时更换。

参考文献:

- [1] 王维维. 电气主设备继电保护原理与应用[M]. 2版. 北京:中国电力出版社,2002.
- [2] 卓乐友. 电力工程电气设计手册第二册(电气二次部分)[M]. 北京:水利电力出版社,1991.
- [3] 李基成. 现代同步发电机励磁系统设计与应用[M]. 北京:中国电力出版社,2002.
- [4] 谢丹. 自并励系统的优化设计[J]. 东北电力技术,2001(8): 25-28.
- [5] XIE Dan. The optimizing design of self-parallel excitation system[J]. Northeast Electric Power Technology,2001(8):25-28.
- [6] 郑邦梁. 励磁系统参数优化方法[J]. 华东电力,1999(4):5-9,14.
- [7] ZHENG Bang-liang. Parameter optimization of excitation system[J]. East China Electric Power,1999(4):5-9,14.
- [8] 竺士章,戚永康,方思立. DL/T 650-1998 大型汽轮发电机自并激静止励磁系统技术条件[S]. 北京:中国电力出版社,1998.
- [9] 忽树岳,孙辅晨,黎道成,等. GB/T 7409.3-1997 同步电机励磁系统大、中型同步发电机励磁系统技术要求[S]. 北京:中国电力出版社,1997.

(责任编辑:康鲁豫)

作者简介:

徐挺进(1965-),男,湖北枝江人,工程师,主要从事发电厂电气技术管理工作(E-mail: tjxu@gdjmrdc.com)。



Exciting circuit retrofitting of Jingmen thermal power plant unit 4

XU Ting-jin

(Guodian Changyuan Jingmen Thermal Power Plant, Jingmen 448040, China)

Abstract: Field test and operation experience show that, the field circuit breaker of Jingmen thermal power plant unit 4 is not reliable, the linear resistance for field suppression often generates high voltage on rotor, the suppression time is long, and the performance of rotor over-voltage protection is poor. For that, the exciting circuit retrofitting is carried out; the nonlinear ZnO resistor is applied for field suppression. The operating principle of over-voltage protection based on high performance ZnO resistor is introduced, and the technical parameter selection and calculation methods of field suppression system are presented with technical requirements of ZnO resistor, field suppression equipment and rotor over-voltage protection. Field test under no-load and short circuit conditions show the expected effect of this retrofitting is obtained.

Key words: thermal power plant; exciting circuit; ZnO resistor; field suppression