

一起励磁系统通道异常导致的故障分析

戴中华

(中国大唐集团科学技术研究院有限公司华东分公司,安徽 合肥 230601)

摘要:分析了一起励磁调节器手动模式运行导致机组非停的案例,给出了励磁调节器手动模式运行时,有功功率、无功功率的相互关系及变化趋势,通过潮流仿真,再现了故障过程,进一步说明了分析的准确性,同时验证了跳机过程中失磁保护定值。文章的分析结果对电厂运行维护有重要的参考价值。

关键词:手动模式;恒励磁电流;失磁保护;励磁系统

中图分类号:TM621

文献标志码:B

文章编号:2096-3203(2017)01-0106-03

励磁系统与电力系统稳定有着密切的关系,其在维持发电机电压、系统故障时电压快速恢复、提高电力系统动态稳定性等方面发挥重要作用^[1,2]。励磁系统是一个自动闭环控制系统,按励磁系统动作原理,其控制对象可以选取发电机电压、发电机励磁电流、可控硅触发角度、发电机励磁电压、发电机无功及发电机功率因数等^[3,4]。其中,以发电机电压为控制对象的控制方式通常简称为自动运行方式,而以励磁电压、励磁电流、可控硅触发角度为控制对象的统一简称为手动运行方式,以发电机无功或功率因数为控制对象的一般简称为叠加控制模式。相关研究及案例表明:励磁系统采用PID控制方式时,自动运行方式有助于改善发电机电压的动态和静态稳定性,而手动运行方式由于其控制简单、环节较少等因素,一般应用于发电机特殊运行工况,如发电机短路试验、空载试验等,在机组正常运行期间,励磁系统必需置于自动运行方式。文中采用理论研究及仿真的方法,分析了一起机组正常运行过程中,励磁系统置手动运行通道导致的非停事故案例,并提出相应的预防措施。

1 故障概述

2016年4月30日08:21:14,某电厂当值值长发现2号发电机有功功率758 MW,无功功率-334 Mvar,立即下令2号机组手动增加励磁,主值接令后立即准备手动增加励磁。运行人员接增磁指令,尚未来得及操作,08:23:46.947,2号机组无功最低降至-549.77 Mvar,发变组保护A屏“失磁Ⅱ段保护动作”,发变组全停,机组跳闸,汽机跳闸,锅炉主燃料跳闸。

检查发现,保护动作后发变组保护除报“失磁Ⅱ段保护动作”信号外无其他跳闸信号,机组进相深度颇深。调阅并整理当天的发电机有功功率、无

功功率等电气量变化趋势,选取部分数据如表1。

表1 跳机前6h电气量部分数据

时间	有功功率/MW	无功功率/Mvar	发电机电压/kV	励磁电压/V	励磁电流/A
02:06:36	508.42	-32.69	27.22	194.75	2 464.05
05:52:08	582.85	-100.13	26.77	195.06	2 467.14
08:05:16	660.98	-107.51	26.57	210.67	2 642.14
08:17:00	711.14	-190.90	26.08	209.98	2 642.14
08:21:14	752.84	-306.90	25.17	209.63	2 642.14
08:23:30	763.37	-419.91	24.52	203.88	2 642.14
08:23:40	763.37	-473.86	24.52	194.40	2 644.94
08:23:45	763.37	-549.77	23.50	168.33	2 660.11

从表1数据可见,跳机前20 min,发电机电压、无功功率、励磁电压均存在单调减小趋势,有功功率开始呈上升现象,但在升至763.37 MW之后维持该值不变,而发电机励磁电流全天基本保持恒定。

检查励磁调节器,面板显示正常,但“励磁手动运行通道”灯点亮,与表1中励磁电流保持恒定的特征吻合,正常机组运行过程中励磁调节器应运行在自动通道。从励磁系统检查情况可见,在跳机发生前后,励磁系统一直处于手动运行方式。询问得知,凌晨1时,运行人员发现机组进相较多,为提高机组无功,运行操作人员退出自动电压控制(AVC),切换励磁系统至手动通道,将机组无功增加至-30 Mvar左右,增磁操作后,励磁系统运行在手动通道且保持不变直至机组跳机,在该过程中励磁系统均无人为操作,且AVC装置在退出状态。

综合检查情况:该次跳机前励磁系统已切换至手动运行方式,机组进相深度过深,失磁保护动作出口跳机。

2 原因分析

2.1 故障机组参数

故障机组为东方电机厂生产的QFSN-1000-2-

27 型发电机,其采用自并励励磁系统,励磁调节器型号为 ABB UN6800。发电机参数见表 2。

表 2 发电机技术参数

参数	数值
额定功率/MW	1000
额定容量/(MV·A)	1112
额定电压/kV	27
额定电流/A	23 759
额定励磁电流/A	5041
额定励磁电压/V	437
横轴同步电抗/%	212

2.2 失磁保护动作分析

由于失磁保护判断的是发电机测量阻抗,而运行人员监视的数据一般为发电机有功、无功等电气量,判断失磁保护动作行为首先需进行定值映射。式(1)即给出了发电机测量阻抗值与发电机功率的映射关系^[5]。

$$\begin{cases} P = U^2 R / (R^2 + X^2) \\ Q = U^2 X / (R^2 + X^2) \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中:(R, X)为阻抗平面的失磁保护曲线各点的坐标;(P, Q)为(R, X)映射到功率平面的坐标; U 发电机电压。该机组失磁保护采用异步圆阻抗,其中 $X_A = 1.9 \Omega$, $X_B = 27.2 \Omega$, 电流互感器的变比为 30 000 A/5 A, 电压互感器的变比为 27 kV/100 V。

为判断失磁保护动作定值,按照式(1),设定 $U = 23.50$ kV(跳机瞬间),将失磁保护定值映射至功率平面如图 1 所示。

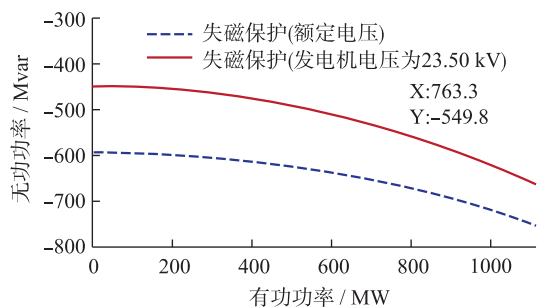


图 1 失磁保护定值功率平面映射

从图 1 可见,发电机电压下降至 23.50 kV 时,失磁保护动作曲线向上平移,图中标记点与机组跳机瞬间工况一致,失磁保护正确动作。

2.3 机组运行工况分析

2.3.1 无功功率变化趋势

随着有功功率的增大,发电机无功功率不断减小。表 3 给出了随着有功增加,相同有功功率变化量 ΔP 对应的无功功率变化量 ΔQ 的数据,从数据中可以看出在有功为 763.37 MW 时, $\Delta Q/\Delta P$ 急剧

变大,最终机组失磁保护动作跳机。

表 3 整个过程的 $\Delta Q/\Delta P$ 值

时间	ΔP / MW	ΔQ / Mvar	$\Delta Q/\Delta P$
2:06:36-5:52:08	74.43	-67.44	-0.91
5:52:08-8:05:16	78.13	-7.38	-0.09
8:05:16-8:17:00	50.16	-83.39	-1.67
8:17:00-8:21:14	41.70	-116.00	-2.78
8:21:14-8:23:30	10.53	-113.01	-10.73
8:23:30-8:23:40	0	-53.95	∞
8:23:40-8:23:45	0	-75.91	∞

2.3.2 有功功率变化趋势

结合运行人员操作记录与表 1 数据,从凌晨 2 时至 8 时,发电机有功逐步增加,这与运行曲线一致,属于正常的运行操作。8 时为早高峰,调度自动发电量控制指令随负荷要求增大,发电机有功增加到 763.37 MW,此时 AGC 指令大于 763.37 MW,机组尚需继续增加有功,但经过 15 s 发电机有功仍然保持不变。

ABB UNITROL6800 型励磁调节器手动通道即恒励磁电流控制模式,其控制对象为发电机励磁电流,维持 E_q 为恒定值,发电机有功功率有一最大值,即发电机功角为 90° 对应的有功功率为:

$$P_{\max} = E_q U_t / x_d \quad (2)$$

若继续增大功角,机组即失去静态稳定,滑运行失步,表 3 的有功功率变化量 ΔP 在 8:23:30 之后为零的原因即在于此。

2.3.3 仿真分析

利用 matlab/simulink 仿真平台搭建发电机-无穷大电网的仿真模型,其中发电机参数采用表 2,由于为发电机潮流稳定仿真,发电机时间常数采用经典数据(不影响仿真结果),励磁调节器采用手动运行方式,其传递函数为:

$$G(s) = 60 + 20 / s \quad (3)$$

从第 2 s 开始,发电机有功逐步增加,仿真波形如图 2 所示。从图 2 可见,励磁调节器手动运行方式下,随着有功功率的变化,无功功率随之减少,且有功越大,相同有功功率变化量对应的无功功率变化量 $\Delta Q/\Delta P$ 也越大。实际机组运行分散控制系统(DCS)录波图如图 3 所示,对比图 2 和图 3,机组有功、无功的变化趋势完全一致,仿真波形很好地再现了运行数据。

由于采用的是单机-无穷大电网的仿真模型,相对于实际电网其发电机电压下降的较少,发电机功角为 90° 对应的有功功率更大,这与图 2 和图 3 的曲线较为吻合。

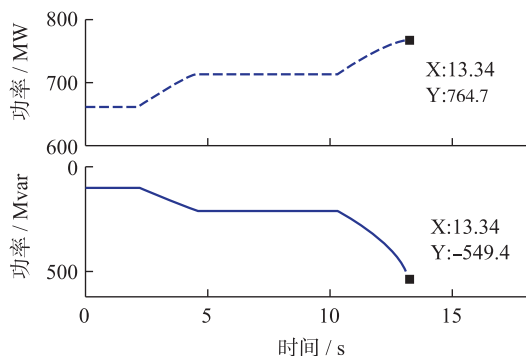


图2 励磁调节器手动运行方式下潮流仿真波形

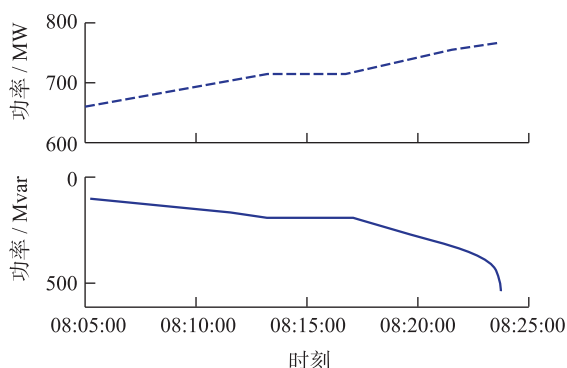


图3 跳机前后实际运行DCS录波图

3 结束语

综合上述分析,该机组跳机的主要原因是运行过程中励磁调节器误切手动通道引起失磁保护动作,而运行监控未设置专门的电气运行监控电脑,不能及时掌握机组的运行状况,是导致非停的间接原因。

励磁调节器手动模式可短期运行,但禁止长期运行。为避免发生类似事故,结合该案例,提出以下几点建议:(1) 加强运行人员电力系统基础知识培训,特别是励磁调节器各运行模式的物理概念、运

行操作的步骤的培训;(2) 运行监控应设置专门的电气运行监控电脑,机组运行过程中时刻关注无功、电压趋势,发现异常应及时排查;(3) 在DCS中设置励磁系统运行异常报警光字牌,如手动通道运行超过一定时限、机组功角超过 70° 、功率异常波动等信号应重点关注;(4) 编制详细的运行操作规范,特别是励磁系统投退、磁场开关操作、增磁减磁、通道切换、电力系统稳定器投退等重要操作,必须要一人监护一人操作;(5) 重要的励磁系统操作,如运行中励磁系统退出、磁场开关分闸需有闭锁逻辑,防止运行中误操作;(6) 加强励磁系统巡视,至少保证一值2次,且巡视结束应记录励磁系统运行状态,以备查阅。

参考文献:

- [1] 刘 取. 电力系统稳定性及发电机的励磁控制[M]. 中国电力出版社,2007:136-154,266.
- [2] 王清明. 300 MW 机组励磁低励限制引起功率异常波动分析[J]. 热力发电,2009,38(12):75-77.
- [3] 丁 傲,谢 欢,刘 平,等. 发电机励磁调节器低励限制协调控制分析[J]. 电网技术,2012,36(8):193-198.
- [4] 薛小平,王文新. 二滩水电站机组无功功率波动分析[J]. 水电自动化与大坝监测,2012,36(4):17-19.
- [5] 陈 晶,刘明群,吴水军. 发电机励磁限制与相应机组保护的配合[J]. 南方电网技术,2012,6(1):6-9.

作者简介:



戴申华

戴申华(1984—),男,安徽池州人,工程师,从事发电机励磁系统试验及理论研究工作。

Analysis of the Trip Caused by Abnormal Channel of Excitation System

DAI Shenhua

(China Datang Corporation Science and Technology Research Institute Co. Ltd. East China Branch, Hefei 230601, China)

Abstract: A case of the unit's abnormal outage under the situation of the manual mode operation of excitation regulator was analyzed. Based on the analysis, the relationship between active power and reactive power as well as their trend under the situation of the manual mode operation of excitation regulator were discussed. The accuracy of the analysis has been proved through a simulation which reproduce the fault process. The simulation has also verified the setting value of excitation-loss protection for generation trip. The analysis results in this paper will have important reference value for the operation and maintenance of power plant.

Key words: manual mode; constant exciting current; excitation-loss protection; excitation system