

一起发电机转子匝间短路故障的分析和处理

黄松涛

(江苏省电力公司电力科学研究院,江苏南京 211103)

摘要:文中对某电厂390H型发电机转子匝间短路故障的分析和处理过程进行了描述,给出怀疑匝间短路时开展的振动检查和电气试验,根据检查和试验结果分析判断认为存在匝间短路故障,解体得出故障原因为转子匝间绝缘跑偏,并就匝间短路故障给出相应的处理经过。

关键词:转子匝间短路;交流阻抗;匝间绝缘;跑偏

中图分类号:TM31

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2016)02-0087-02

发电机转子匝间短路故障是常见的转子故障,轻微的匝间短路对机组正常运行影响并不明显^[1-4]。但转子匝间短路故障进一步发展会引起严重的危害,使得励磁电流明显增加,从而引起较高的温度,引起转子的不平衡和振动,降低机组的效率和可靠性,处理不当将会使得故障扩大,应引起足够的重视。

1 故障情况简介

2015年4月份以来,2号发电机组在启动升速过程中,当转子升速过发电机一阶临界转速(约865 r/min)时,机组振动明显增大,其中发电机前轴承7X轴振由原来的50~60 μm增大到170 μm左右,并有继续恶化的趋势,最大一次7X轴振曾达到192 μm。启动过临界后振动迅速下降,直至定速3000 r/min,7瓦振动均良好,在机组降速过一阶临界转速时,7瓦轴振始终正常。之前该2号机组的各瓦振动均处于优良状态。过程中未见电气报警信号发出。该发电机为哈尔滨电机厂引进美国GE公司技术生产的390H型隐极式发电机,其额定容量为468 MV·A,额定功率为397.8 MW,功率因数为0.85(滞后),定子电压为19 000 V,定子电流为14 221 A,转子电压为750 V,转子电流为2360 A,频率为50 Hz,相数为3,定子绕组连接方式YY,发电机冷却方式为定子绕组水内冷,转子绕组氢内冷,铁心及其他构件氢冷,额定氢压为0.6 MPa,绝缘等级为F级。振动原因比较复杂^[5],首先要确认是否为发电机本身的问题,振动跟励磁有否相关性,然后按照不同原因进行下一步的检查核实。

2 振动分析

2.1 振动的复现性

多次启动的现象表明,从轴振7X过临界时的振动峰值突变至170~180 μm,而定速3000 r/min及带负荷过程中,7瓦振动属合格范围,特别是机组降速过

程,过一阶临界转速时,7瓦轴振仍为正常水平。该现象具有显著的重复性。

2.2 振动与励磁的相关性

振动仅在升速过程存在。因燃机启动的方式不同于火力机组,其在启动升速过程的特殊性,发电机必须先施加励磁当同步电机用。为进一步验证振动与励磁的相关性,将机组升速至1000 r/min后,迅速打闸停机,发电机自动去励,机组惰走停机,7X轴振急剧下降,从120 μm瞬间陡降至30 μm。从切断励磁电流后7瓦的振动现象看,充分说明该机组7瓦的振动与加载励磁具有密切相关性。初步判断为异常电磁力造成了该强迫振动。

2.3 电磁力的来源

对发电机产生振动影响的电气故障主要表现在2个方面,其一是热不平衡,其二是电磁不平衡。研究表明,与转子同步旋转的电磁力,将激发转子在旋转频率下的振动即通常所说的基频振动。进一步分析判定现场振动符合基频振动特征,认为电磁力产生的原因是电磁不平衡造成的,怀疑2号发电机7瓦振动是由转子匝间短路引起。

3 电气试验

待盘车停用,对2号发电机对进行转子直流电阻、转子交流阻抗试验等相关电气试验及检查。直流电阻试验的结果如表1所示。

表1 直流电阻试验值

测量值(20℃)/Ω	出厂值(20℃)/Ω	变化/%
0.272 4	0.268 7	+1.37 7

由表1可见,直流电阻有一定变化。规程^[6]要求,转子绕组直流电阻测量,与交接及前次测量值偏差其变化应不超过2%,测试值尚未超标。在静态0转速时开展了转子膛内的交流阻抗和功率损耗试验,试验数据如表2所示。

由表2可见,交流阻抗和功率损耗与发电机交接

表 2 静态下的交流阻抗和功率损耗试验值

项目		数据			
测量值	U/V	56.0	96.0	150.0	198.0
	I/A	7.43	12.79	19.19	24.27
	P/W	240	720	1710	2870
	Z/Ω	7.537	7.505	7.816	8.158
交接值	U/V	56.7	96.95	150.0	198.1
	I/A	6.43	10.68	15.93	20.45
	P/W	220	635	1480	2530
	Z/Ω	8.854	9.10	9.416	9.687
$\Delta Z/\%$		-14.9	-17.5	-17.0	-15.8

试验数据相比有较大变化,以测试电压 200 V 为例,交流阻抗减少约 16%,功率损耗增大 13.4%,其他电压下也有相同的变化趋势,初步确诊该发电机转子存在匝间短路故障。

由于影响交流阻抗和功率损耗的因素较多,故规程^[6]仅要求现测量值与初始值进行比较,不应有显著变化,没有给出统一标准。考虑到交流阻抗试验具有一定的离散性,为确诊存在匝间短路故障,又开展一次 3000 r/min 转速下的动态转子膛内交流阻抗和功率损耗试验,试验数据如表 3 所示。

表 3 动态转速下的交流阻抗和功率损耗试验值

项目		数据			
测量值	U/V	50.0	100.0	150.0	200.0
	I/A	11.67	22.15	31.01	38.70
	P/W	320	1205	2580	4245
	Z/Ω	4.284	4.514	4.837	5.167
交接值	U/V	50.2	100.0	150.0	200.0
	I/A	6.83	13.20	19.12	24.60
	P/W	179	675	1468	2528
	Z/Ω	7.32	7.58	7.85	8.13
$\Delta Z/\%$		-41.5	-40.4	-38.4	-36.4

由表 3 可见,相比发电机交接试验数据,交流阻抗和功率损耗均有很大变化,以 200 V 测试电压为例,交流阻抗值减少达 36.4%,功率损耗增大 67.9%,其他电压下也有相同的变化趋势。

当转子绕组中发生匝间短路时,经短路线匝中的短路电流具有强烈去磁作用,会导致交流阻抗大大下降、功率损耗明显增加的现象。

4 原因分析及处理

4.1 初步判断

结合上述振动分析及电气试验的情况,可以认为发电机的异常振动与电磁力异常变化有关,电磁力异常变化判断为转子匝间短路引起。当转子某槽绕组存

在匝间短路时,气隙磁密发生变化,短路匝绕组对应的气隙磁密将减小,而电磁力和磁密平方成比例,因此将产生不平衡电磁力作用于转子。可判断发电机转子存在明显的匝间短路。

4.2 解体检查

确诊为匝间短路故障后,在现场开展了氢气置换、拆发电机端盖、轴瓦、风扇等一系列检修工作,然后发电机拆对轮,对发电机抽转子,转子就位后开展发电机转子的相关检查。支撑转子后,在端部装收环键工具、顶中心工具。用 6 把大号气焊枪同时加热护环并经常移动,加热过程缓慢以保证温升均匀、防止局部过热,当加热到 270 °C 时退护环。然后,拆顶中心环工具、中心环和绝缘环、阻尼瓦、绝缘瓦和端部垫块,抬起各槽线圈进行检查。

4.3 故障点及分析

经过检查发电机转子端部匝间绝缘,发现多数匝间绝缘已经跑偏。转子匝间短路故障点如图 1 所示,图中清晰可见 9 号线圈 2 点明显的放电痕迹。



图 1 匝间短路故障点位置图

分析认为,故障点应存在 2 点以上,主要是由于匝间绝缘的跑偏引起。匝间绝缘跑偏的主要原因为绝缘胶的黏性不够,而且燃机的日常频繁起停,也加速了黏性不够的绝缘纸的位移。

4.4 缺陷处理及效果

对所有线匝进行了清理、打磨,更换所有的匝间绝缘,重新粘绝缘胶,转子重新下线。更换阻尼瓦、护环绝缘瓦、粘绝缘瓦胶带后,加装护环,开展组装后试验。将该处绝缘缺陷彻底处理后,该机组并网发电运行至今,未再发生转子匝间短路故障。

5 结束语

(1) 转子匝间短路一般伴随有振动增大,且振动与励磁电流有一定对应关系,变化方向一致。而交流阻抗值是现场容易开展的判断匝间短路较灵敏的试验。

(2) 转子匝间短路原因多为匝间绝缘缺陷、铜线有毛刺、异物侵入等,对两班制调峰机组要加强防范。

(3) 一般发电机定子内埋设有转子磁场探头,为在线分析转子有无匝间短路提供了基础。转子匝间短

要经过基本的电气测量确认电气参数无异后,方可继续投运设备,防止造成事故扩大。电力电容器和滤波器是实现电力无功补偿的主要电气设备,不仅可以补偿无功功率,提高系统的功率因数,降低系统损耗,且能够调节系统运行电压,对电网安全经济运行具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 王 东. 电容器运行常见问题分析与对策[J]. 江苏电机工程, 2008, 27(4): 51-53.
- [2] 高 鹏, 许园园. 关于 SVC 水冷却系统的技术浅析[J]. 东北电力技术, 2013, 34(12): 20-23.
- [3] 张建国, 牟晓春, 李 阳. 静止同步补偿器偏磁控制方法[J]. 江苏电机工程, 2015, 34(3): 34-36.

- [4] 田友元. 高电压集合式并联电容器的设计问题[J]. 东北电力技术, 1997, 18(7): 12-16.
- [5] 吴 杰, 刘晓芹. 电力电容器暂时过电压事故分析[J]. 电力电容器, 2003, 24(4): 18-19.
- [6] 李兴唐. 利用氧化锌避雷器保护并联电容器组的过电压[J]. 东北电力技术, 1998, 19(1): 12-18.
- [7] 李丽君, 刘汝峰, 张 斌. 并联电容器检查试验注意事项研究[J]. 东北电力技术, 2013, 34(6): 26-28.

作者简介:

高 鹏(1980), 男, 江苏徐州人, 高级工程师, 从事电力系统分析和电力电子技术应用的研究与工程应用工作;

于旭东(1985), 男, 江苏镇江人, 工程师, 从事电力系统分析和输配电设计的研究与工程应用工作。

An Atypical Filter Ccapacitor Accident Analysis

GAO Peng¹, YU Xudong²

(1. Nanjing Nari-Relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China; 2. DAQO Group Co. Ltd., Yangzhong 212211, China)

Abstract: Filter is one of the most important reactive compensation and harmonic filtering equipment in power system. So it is very important to accumulate experience of its operation, accident analysis and maintenance. Based on the actual transient fault record waveforms of protection devices, the analysis and calculation for an atypical power filter capacitor accident is given in the paper. The simulation model for verification is built in the electromagnetic simulation tool of PSCAD/EMTDC using the actual system primary equipment parameters. The analysis and studies for this accident case are verified by the corresponding transient simulation and calculation. The simulation curves and data are almost the same with those in the actual transient fault recorded by the protection devices. Hence, the effectiveness and correctness of the analysis progress are verified and confirmed. Finally, some constructive suggestions on rectification and maintenance for this accident case are given.

Key words: power capacitor; filter; accident analysis; over-current; trip; PSCAD/EMTDC

(上接第 88 页)

路会引起励磁电流增加,磁场波形畸变,装设可靠的转子线圈短路在线监测应为未来的趋势。

参考文献:

- [1] 马宏忠,李之昆,彭 钱. GP 法在发电机转子绕组匝间短路诊断中的应用[J]. 继电器, 2004, 32(22): 16-19, 28.
- [2] 李伟清. 汽轮发电机故障检查分析及预防[M]. 2 版. 北京: 中国电力出版社, 2010: 93.
- [3] 唐芳轩,傅 煜. 隐极同步发电机转子匝间短路的分布电压诊断法[J]. 高压电器, 2005, 02(41): 72-75.

- [4] 彭发东,张征平,陈杰华,等. 大型汽轮发电机转子匝间短路故障的分析与诊断[J]. 大电机技术, 2010 (6): 17-19.
- [5] 陈华桂,秦慧敏,戴兴干. 660 MW 汽轮机轴瓦温度异常的分析与处理[J]. 江苏电机工程, 2014, 33(2): 75-78.
- [6] DL/T 596—1996 电力设备预防性试验规程[S].

作者简介:

黄松涛(1963), 男, 江苏南京人, 工程师, 从事发电机和励磁专业工作。

Analysis and Treatment of a Generator Rotor Turn-to-turn Short Fault

HUANG Songtao

(Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: Analysis and processing of turn-to-turn short fault of a 390H generator rotor is presented in this paper. The vibration inspection and electrical tests are carried out. According to the results of the inspection and test, the conclusion of rotor turn-to-turn short fault is conducted. Through the disintegration analysis, the fault reason is obtained as deviation of turn-to-turn insulation of rotor. The corresponding treatment of turn-to-turn short fault of generator rotor is also introduced.

Key words: rotor turn-to-turn short; AC impedance; turn-to-turn insulation; deviation