

浅析发电机出口 PT 断线故障

李雪鸥

江苏淮阴发电有限责任公司, 江苏 淮安 223001

[摘要]发电机出口 PT 断线是发电机运行中一种常见的故障。故障发生不仅会导致发电机各参数指标异常, 在处理过程中也容易出现误操作和人身伤害, 严重威胁电网稳定运行和企业安全发展。文章以某电厂#4 机组发电机出口 PT 配置为例, 对两起发电机出口 PT 断线故障的现象、排查和处理进行了详细的分析, 并就改进措施和注意事项进行探讨, 为发生同类故障时的分析和处理提供参考和指导。

[关键词]发电机; PT; 断线; 慢熔; 故障处理

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16909

中图分类号: TM645

文献标识码: A

Brief Analysis of PT disconnection Fault at Generator Outlet

LI Xueou

Jiangsu Huaiyin Power Generation Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu, 223001, China

Abstract: PT disconnection at the generator outlet is a common fault during generator operation. The occurrence of faults not only leads to abnormal parameters of the generator, but also easily results in misoperation and personal injury during the handling process, seriously threatening the stable operation of the power grid and the safe development of the enterprise. The article takes the PT configuration at the outlet of Unit # 4 generator in a certain power plant as an example, and provides a detailed analysis of the phenomena, troubleshooting, and handling of two generator outlet PT disconnection faults. Improvement measures and precautions are also discussed, providing reference and guidance for the analysis and handling of similar faults.

Keywords: generator; PT; disconnected wire; slow melting; fault handling

引言

发电机出口 PT 是保证发电机安全稳定运行的重要电气设备, 在发变组中起到测量、保护等作用。为降低设备故障率, 提高设备运行可靠性, 部分运行机组会将发电机出口 PT 的二次熔丝改造成空气开关, 因此, 现有发生的 PT 断线故障主要集中在发电机出口 PT 的一次熔丝断线上。一旦发生 PT 断线故障, 可能导致发变组保护闭锁, 影响发电机励磁调节, 严重时可能导致保护误动作, 机组跳机, 严重影响设备运行稳定与安全。

1 设备简介

某电厂#4 机组为哈尔滨汽轮发电机厂生产的 QFSN-330-2 三相同步汽轮发电机, 额定功率为 330MW, 额定功率因数为 0.85 (滞后), 发电机经分相封闭母线与主变压器相连接, 中间不设发电机出口断路器。^[1]

发电机的励磁采用自并励静止励磁系统, 励磁调节器为国电南瑞科技的 NES6100 型发电机励磁调节器。由 A B 两套调节器及一台工控机等组成。基本功能是调节和控制发电机的机端电压, 正常运行为主调节通道输出脉冲, 自动控制功率柜内可控硅, 从调节通道处于热备用状态。从通道跟踪主通道的调节角度值及控制给定值, 输出脉冲被阻断在主/从切换输出之前。主/从通道可实现手动/故障切换。^[2]

发变组保护配置的是国电南自的 DGT801 型数字式发电机变压器保护装置。分为 A、B、C 柜, 其中 A、B

柜为相同的保护配置 (双套化), 为电气量保护; C 柜为非电气量保护, 包括瓦斯、温度、绕组温度、压力释放、冷却器全停、油位等。^[3]

发电机出口设置有 3 组 PT, 一共 9 个单相 PT 手车, 分别为 A 柜 1PTA、2PTA、3PTA, B 柜 1PTB、2PTB、3PTB, C 柜 1PTC、2PTC、3PTC。每个 PT 手车均有 1 值高压熔丝、二次插件和 PT 本体组成, PT 二次开关则统一布置在发电机 PT 二次端子箱内。发电机出口 PT 由大连北方互感器集团有限公司生产, 布置在汽机房 6.3m 层励磁变旁边, 型式为单相环氧树脂浇注绝缘, 1PT、2PT 为半绝缘型电压互感器, 3PT 为全绝缘型电压互感器, 变比为 $20/\sqrt{3}/0.1/\sqrt{3}/0.1/\sqrt{3}/0.1/3$ 。其中, 1PT 主要输出至发变组变送器屏、同期屏、发变组保护 A 柜、励磁调节器 A 通道、故障录波屏等, 2PT 主要输出至发变组厂用电电度表屏、发变组保护 B 柜、励磁调节器 B 通道、故障录波屏, 3PT 主要输出至发变组保护 A、B 柜。

2 故障处理

2.1 发电机出口 1PTC 相故障

2.1.1 故障现象

2025 年 2 月 3 日, 10 点 28 分, #4 机组 30% 负荷深调, 值班人员值班时发现#4 机组 DCS 报警信号: “发电机励磁调节器 PT 断线” “发电机励磁调节器 A 套故障”。DCS 电气画面数据显示无异常, 就地检查发现励磁调节

器由 A 套主套切换为 B 套主套运行。

2.1.2 故障分析

#4 机组配置的国电南瑞科技的 NES6100 型发电机励磁调节器，带有 PT 熔断器断线检测功能，其判据采用的是负序反时限，如表 1 所示。

表 1 PT 熔断判据定值表

负序电压% $\geq$	动作时间 S
5	0.06
4	0.4
3	5
2	10
1	20

当励磁调节器主套测得负序电压后，按照上表，达到定值持续时间大于动作时间时，即发出 PT 断线故障信号，主套自动切换为从套。

根据现场现象，发变组保护 A、B 柜均未发出 PT 断线报警，而励磁调节器发出断线报警，且自动由 A 套主套运行切换为 B 套主套运行，可以初步判断为 1PT 一次熔丝出现慢熔现象。在 PT 二次端子柜处，测量 1PT 二次侧的 $U_{AB}=100V$ ， $U_{BC}=97V$ ， $U_{AC}=96V$ 。由此，判断出#4 发电机出口 1PTC 相一次熔丝发生了慢熔现象，需退出 1PT 更换熔丝。

2.1.3 故障处理

汇报值长及相关领导，退出发变组 A 柜相关保护。交代值盘人员，维持机组稳定参数运行，不得盲目调节发电机的有功、无功负荷，严密监视发电机定子电流和转子电压、电流，并加强对蒸汽参数的监视和控制。

操作人员至 PT 二次端子箱处，拉开 1PT 对应的二次侧开关，此时可以观察到 DCS 画面上“YH 断线”光字牌亮，故障录波启动录波信号来。

采取穿戴绝缘手套、绝缘靴等防护措施后，操作人员将 1PTC 相手车拉至检修位置，检查触头，本体及高压熔丝。测量高压熔丝直流电阻已达 27.5Ω ，与开机前测量数值 14Ω 相比变化明显，确认熔丝已出现慢熔现象。

更换熔丝后，将 1PTC 相手车送至工作位置，再次测量二次端子箱 1PT 各相电压正常，送上 1PT 对应各二次

侧开关后，发变组 A 柜、励磁调节器报警信号消失，投入发变组 A 柜相关保护，机组恢复正常运行。

2.2 发电机出口 3PTB 相故障

2.2.1 故障现象

2025 年 2 月 16 日，12 点 19 分，#4 机 DCS 发“YH 断线”报警，发电机各相电压正常、线电压正常。就地检查发变组 A、B 柜“YH 断线”报警灯亮，励磁调节器 A 套运行，未切换主从套。

2.2.2 故障分析

#4 机发变组保护使用的南自 DGT801 采用的是电压平衡式 TV 断线判别逻辑，即对比普通 PT 和专用 PT 的同名相间电压差，当电压差大于整定值时，根据普通 PT 二次是否存在负序电压来判别断线发生在普通 PT 还是专用 PT 一次侧。逻辑图如图 1 所示。

在图 1 中， ΔU_{ab} 、 ΔU_{bc} 、 ΔU_{ac} 分别为两组 PT 的同名相间电压差； ΔU 、 ΔU_{2g} 分别为压差定值、负序电压定值。

由图 1 可以看出：当压差 ΔU_{ab} 或 ΔU_{bc} 或 ΔU_{ca} 大于整定值，而普通 PT 二次无负序电压时，装置判定为专用 PT 一次断线，去闭锁匝间保护；而当压差大于整定值，普通 PT 二次负序电压大于整定值时，装置判定为普通 PT 一次断线，去闭锁定子接地保护等用到普通 PT 电压的保护。

根据保护柜设定，1PT 和 2PT 为普通 PT，3PT 为专用 PT。查看发变组 A、B 柜“YH 断线”相关报文，动作信号为“TV 断线（专用）”，普 $U_2=0.1065V$ 在 PT 二次端子柜处，测量 3PT 的 $U_{AB}=93V$ ， $U_{BC}=94V$ ， $U_{AC}=100V$ 。可以判断为 3PT 一次熔丝 B 相发生熔断故障。

2.2.3 故障处理

汇报值长及相关领导，退出发变组 A、B 柜匝间保护。操作人员至 PT 二次端子箱处，拉开 3PT 对应的二次侧开关。采取穿戴绝缘手套、绝缘靴等防护措施后，操作人员将 3PTB 相手车拉至检修位置，检查触头，本体及高压熔丝。检查发现 3PTB 相高压熔丝熔断，更换新熔丝并检查正常后，将 3PTB 相手车送至工作位置。再次测量二次端子箱 3PT 各相电压正常，送上 3PT 对应各二次侧开关后，发变组 A、B 报警信号消失，投入发变组 A、B 柜匝间保护，机组恢复正常运行。

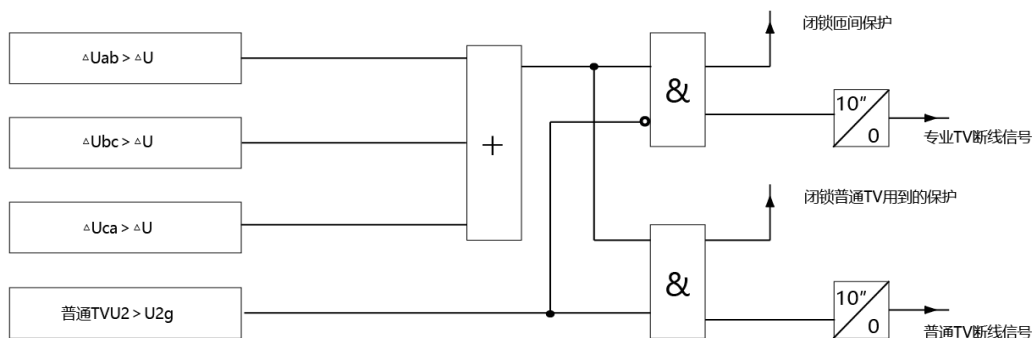


图 1 电压平衡式 TV 断线判别逻辑框图

3 防范措施及注意事项

发电机出口 PT 断线故障是机组运行中一种常见故障,但如不能及时发现及时处理,也会对机组的安全稳定运行造成严重后果。通常需要在运行中消除故障,运行中处理此类故障时必须判断准确,执行操作要规范明确,防止因误操作导致的保护误动和人身伤害。

(1) 加强运行监视,及时发现 PT 断线报警,当值班长要及时联系检修,同时安排运行人员至就地检查报警、报文,并根据 PT 二次端子柜电压判断故障 PT 和故障相。

(2) 技术监督人员应未雨绸缪,做好备品备件储备工作,准备好相应的备用熔丝,并妥善保存。备用熔丝采购时,应注意采用行业内使用较多,质量口碑较好的熔丝品牌,需要甄别部分型号是否具有支撑柱结构,以减少慢熔情况的发生。

(3) 现场进行事故处理时,技术支持人员应到场提供技术支持,做好事故预想和应急处置方案。在运行规程编写中,加入相关故障处理内容,并在日常运行人员技术培训中加强对相关内容的培训。

(4) 运行人员至现场处置时,应两人一组,一人监护,一人操作,并携带对讲机,保持与集控室的通讯畅通。操作过程应有摄像记录,并正确穿戴绝缘手套、绝缘靴等防护器具。将 PT 手车拉出后应当先进行验电,操作过程中要确保核对准确,防止发生误操作和触电人身伤害。

(5) 检查更换操作应按照运行规程规定或事故处理预案执行,确保故障 PT 低压侧小开关已全部断开,再对一次侧 PT 手车执行退出操作。

(6) 在发电机 PT 断线故障处理过程中,应维持机组负荷稳定,必要时可向省调申请退出机组 AVC、PSS、AGC 和一次调频,退出机组协调,汽轮机改阀控运行。同时,安排专人监视自动励磁装置运行情况,当备用通道再次发生断线故障时,应立即切换至手动方式调节。

(7) 更换高压熔丝前,应确保更换熔丝型号一致,并用万用表测量直流电阻正常,确认熔丝完好后再更换,在条件允许的情况下,建议对故障 PT 三相一次熔丝全部更换,以减小同一 PT 重复发生断线故障的概率。

(8) 在执行保护投退操作时,应当严格遵守相关保护投退制定规定,汇报值长,并经相关机构或领导同意后,再执行退出操作。

(9) 除了高压熔丝的熔断故障外,慢熔也是一种常见的熔丝故障现象。从熔断器的设计原理来看,若有大的故障电流经过熔丝时,由于金属效应(难熔金属在某种合金状态下会成为易熔材料),熔丝将首先在焊有锡球的地方熔断,随之在电弧的作用下使熔丝沿全长迅速熔化,所产生的电弧在石英砂的作用下迅速熄灭。由于现场的运行

环境比较恶劣,使熔丝在重力和热积累的作用下出现老化,可能导致在正常的工作电流下发生断裂,由于熔断器是在正常的工作电流下熔断的,熔丝的熔断时间比较长,在熔丝阻值逐渐变大的过程中,造成该相电压的幅值下降,从而引起相关保护的误动作。

(10) 排查厂内各机组的励磁调节装置是否具有熔断检测功能,对不具相关功能的励磁调节装置进行改造升级。励磁用发电机出口 PT 经常会发生高压侧熔丝松动和慢熔式熔断器阻值变大等异常情况,导致 PT 二次侧电压下降和波动,以及 AVR 装置内部机端电压采样值也相应的下降和波动。在自动电压控制(电压闭环)方式下的 AVR 装置会立即实时相应的增加励磁输出,以图把机端电压稳定在给定值水平。从而,导致发电机机端电压大幅抬高,并同时伴有有机端电压、有功和无功的大幅波动。从励磁调节器的 PT 熔断判据就可以发现其对发电机出口 PT 一次熔丝的慢熔现象有较高的灵敏度,可以先于发变组保护装置发现 PT 一次熔丝异常,从而避免慢熔时因未达 PT 断线故障阈值,保护不动作,励磁调节器一直增加励磁的情况发生,大大降低因发电机出口 PT 一次熔丝慢熔导致发电机误强励和过电压事故率。

(11) 应利用机组检修,定期整体更换发电机出口 PT 一次熔丝,检查 PT 高压熔丝夹具有无变形松动,与熔丝接触是否良好,如有异常应及时更换。

4 结语

发电机出口 PT 断线故障对机组安全稳定运行的影响较大,一旦发生故障通常还需要在线处理,对运行人员的判断、分析、操作处理能力要求较高。本文以两起发电机出口 PT 断线故障为例,从现场的实际现象及相关数据入手进行分析判断处理,最终故障得到妥善处理。并由此总结了相应的防范措施和注意事项,为发生同类故障分析和处理提供参考和指导。

[参考文献]

- [1] 哈尔滨电机厂有限责任公司.QFSN-330-2 型汽轮发电机产品说明书[Z].哈尔滨:哈尔滨电机厂有限责任公司,2007.
- [2] 国电南瑞科技股份有限公司.NES6100 系列发电机励磁调节器用户指南[Z].南京:国电南瑞科技股份有限公司,2015.
- [3] 国电南京自动化股份有限公司.DGT801 数字式发电机变压器保护技术说明书[Z].南京:国电南京自动化股份有限公司,2000.

作者简介:李雪鸥(1990.2—),单位名称:江苏淮阴发电有限责任公司;毕业学校和专业:南京工程学院 电气工程及其自动化(电力系统及其自动化)。