

某核电站灯试操作导致机组跳闸的事件分析

张锡轮 沙洪伟

大亚湾核电运营管理有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i1.11418

[摘要] 某核电站汽轮发电机组按计划降功率过程中,突然发生跳闸,没有任何“跳闸条件”报警信号。经排查确认为现场操纵员在执行液位开关试验箱灯试操作时,由于相关回路的切换开关故障,意外导通保护回路,使跳闸继电器直接动作跳机。该故障模式具有隐蔽性、巧合性和误导性。本文通过对整个事件的发生过程、故障排查过程、跳闸原理分析、维修策略改进等方面进行分析,给各位仪控维修同行提供一种故障排查的思路方法。

[关键词] 切换开关; 灯试操作; 隐蔽性; 跳闸; 信息收集

中图分类号: TV662 **文献标识码:** A

Analysis of Tripping Event Caused by Lamp Test

Xilun Zhang Hongwei Sha

Daya Bay Nuclear Power Operations and Management Co.,Ltd.

[Abstract] In the process of a planned power reduction of a turbo set,a trip suddenly occurred without any “trip condition” alarm signal.After investigation,it was confirmed that when the operator was performing the lamp test of level switch test box,due to the fault of switch, the protection circuit was accidentally turned on,so that the trip relay directly was energized .The failure mode has the characteristics of concealment,coincidence and misleading.This paper analyzes the occurrence process of the whole event,troubleshooting process ,tripping principle analysis,maintenance strategy improvement and so on .A method of troubleshooting is provided to colleagues.

[Key words] switch; lamp test; concealment; trip; information collecting

引言

某电厂汽轮发电机组为中间再热式汽轮机,在按计划降功率准备停机的过程中,突然发生跳闸,并且没有任何“跳闸条件”的触发报警信号。故障原因非常隐蔽,经过近三天的排查,最终定位为:汽轮机再热器疏水箱液位试验开关的接点故障,使得灯试回路与跳机保护回路接通,当现场操纵员在试验箱上进行灯试操作时,误触发跳闸出口继电器动作导致汽轮机跳机。

本文描述了此次事件的调查过程,进行了原因分析,并确定了后续的设备管理改进措施。

1 事件详细过程

2018年9月16日凌晨两点,机组按计划执行降功率停机操作,时序过程如下:

02:00机组从满功率开始,以5MW/MIN的速率开始降功率。

02:33电功率降至83%负荷,现场操纵员执行发电机解列前再热器疏水箱液位干预预案的准备工作,按下试验箱灯试按钮。

02:33主控出现大量报警,电功率显示为0,发电机负荷开关延时1S打开,汽轮机转速开始下降,确认汽轮机已跳闸。

汽轮机跳闸后,立即展开原因调查,第一时间收集现场信息,检查确认汽轮机两列跳闸机构均动作,但没有表征跳闸原因的报警信号。

调查组从单一故障到叠加故障逐步查找,最终定位为汽轮机再热器疏水箱液位试验开关的接点故障,使得灯试回路与跳机保护回路接通,在现场操纵员对试验箱上的灯试按钮进行操作时误触发保护信号导致汽轮机跳闸。

9月18日22:00,在维修人员对疏水箱液位试验开关故障接点接线进行处理后,机组冲转并网,并于19日7:00升至满功率。

2 原因分析过程

2.1 背景信息

2.1.1 汽轮机保护系统

汽轮机保护系统在汽轮发电机组发生任何预定的故障时,为汽轮机提供安全停机的手段,防止事故发生、扩大和损坏设备。汽轮机跳闸是通过切断供向汽轮机蒸汽阀门操作装置的動力油,同时排出操作装置内部的残留油,使蒸汽阀门在弹簧力作用下快速关闭。发生跳闸事故的汽轮机组运行时间比较长,汽轮

机保护控制系统设计也比较老旧, 仍为继电器式电气控制回路和机械式控制回路组合的跳闸保护方式^[1], 如图1所示。

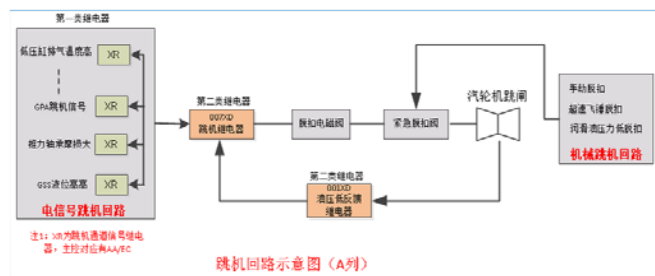


图1 跳机保护系统工作原理图

引发紧急脱扣阀动作的信号分两类, 一类是机械/液压信号引发的跳闸, 包括:

- 机械手动跳闸
- 超速飞锤跳闸
- 润滑油压力低跳闸

其特点是机械跳闸信号直接作用在机械紧急脱扣阀的触发扳机上, 使汽轮机跳闸, 无相应的电气信号表征。

另外一类是电气信号所引发的跳闸, 其特点是传感器把各种保护参数先转换为电信号, 经跳机继电器使紧急脱扣电磁阀通电引发汽机跳闸, 有相应的报警和事故记忆记录。

2. 1. 2 切换开关的内部经验反馈

与发生异常的“再热器疏水箱液位试验开关”同类型的切换开关广泛使用于汽轮机的辅助系统, 历史上曾发生过接点故障, 导致在执行水位开关试验时出现非预期报警, 由于功能用途不同未产生严重后果。故障的原因为试验开关内部塑料转动部件开裂导致触点一直闭合, 无法切换断开, 如图2所示。当时分析认为塑料部件断裂为单个设备制造缺陷, 未对可能发生共模故障的设备采取措施。

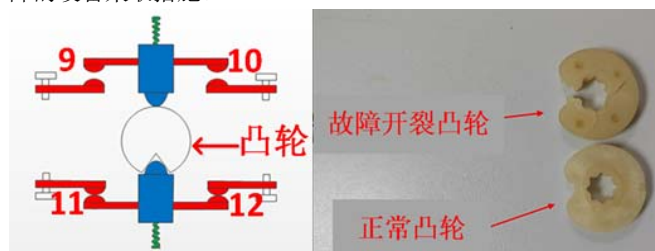


图2 试验开关内部结构及异常情况

2. 2 故障调查过程

经过现场调查最终确认本次事件的原因是切换开关的接点故障, 详细调查过程如下:

汽轮机跳闸后, 检查数据采集系统和事故记忆系统记录信息, 没有表征汽轮机跳闸原因的报警信号, 仅有跳闸后的反馈信号, 检查汽轮机保护系统机柜内部继电器, 也没有记录跳闸原因的信号继电器掉牌(掉牌表示继电器曾经动作)。

汽轮机保护系统机柜内两类继电器动作情况如下: 第一类跳闸信号继电器XR: 位于17个跳闸通道上用于记录跳闸原因的信号继电器没有掉牌。

第二类执行跳闸和跳闸反馈继电器XD: 6个执行跳闸继电器和2个跳闸反馈继电器全部掉牌。

根据跳闸通道设计原理, 跳闸通道分为电气信号跳闸回路和机械跳闸回路^[4]:

电信号跳闸回路: 该回路动作, 事故记忆系统中会触发跳闸的首发信号, 机柜内两类继电器都会掉牌。

机械跳闸回路: 该回路动作, 事故记忆系统中不会触发跳闸的首发信号, 机柜内第一类继电器不会掉牌, 第二类继电器会掉牌, 这与本次跳闸现象相符。

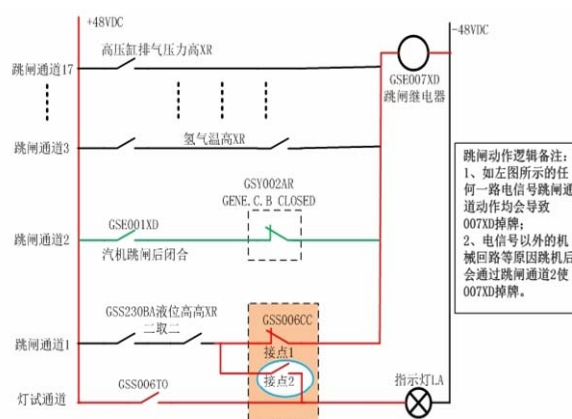
该现象误导调查人员认为机械回路导致跳闸的可能性较高, 花费较长时间在机械回路进行检查。

机械维修部门检查油回路和紧急跳闸装置未发现异常。执行机械手动打闸试验, 发现阀门与油压信号的动作时序与事故跳闸时的时序有不同, 排除机械设备故障可能。之后重点检查电气信号回路故障, 从单一故障、电磁干扰、保护动作机理等方面进行包络性验证检查, 但未发现异常。经前述检查, 已基本排除单一设备故障的可能性。

之后从叠加故障模式分析入手, 一方面收集跳机时运行人员的活动及操作记录信息, 另一方面收集跳机保护回路所有相关设备的故障模式信息。再热器疏水箱液位高高是跳机的条件之一, 事故期间现场操纵员人员有相关试验保驾工作, 最终怀疑到“再热器疏水箱液位试验切换开关”可能故障。经现场验证并与现场操纵人员核实, 确认试验开关的常开接点异常闭合叠加灯试操作触发了汽轮机跳闸。

对故障的试验开关解体检查, 确认故障点为开关内部塑料转动凸轮开裂, 导致常闭接点无法被凸轮顶起断开, 发生异常闭合, 与切换开关的历史故障模式一致。

2. 3 事故跳闸原理



关GSS006CC正常状态时, 接点1闭合, 接点2断开, 回路中的“+”电通过液位高高继电器, 经试验开关上闭合的接点1, 送到跳闸继电器GSE007XD使其励磁, 实现正常的保护功能。液位试验开关GSS006CC试验状态时, 接点1断开, 接点2闭合, 切断跳闸回路, 接通指示灯回路, 可以执行液位开关动作试验。

GSS006CC正常时其接点1和接点2不会同时闭合, 因此操作灯试按钮GSS006T0时“+”电不会送到GSE007XD。本次故障时GSS006CC出现了接点2异常闭合的情况, 叠加GSS006T0灯试操作, “+”电通过GSS006T0、GSS006CC接点2、GSS006CC接点1送往了GSE007XD, 使得跳闸继电器GSE007XD动作, 最终导致汽轮发电机组跳闸。

3 维修策略及改进

3.1 试验开关当前的维修策略

故障的试验开关是一个三位切换开关, 包含三个选择位TA(A列试验位)、N(正常位)、TB(B列试验位)。正常运行时选择开关位于N位置, N位置接点闭合, TA、TB位置接点断开。试验状态时选择开关位于TA或者TB位置, N位置接点断开, TA或者TB位置接点闭合。TA试验位用于闭锁A列液位计跳机保护, TB试验位用于闭锁B列液位计跳机保护。本次故障为TA试验位接点异常闭合。

该功能位置试验开关仅在定期的液位开关带负荷试验时进行操作, 大修后启机时执行, 操作频率较低, 同类型开关故障率也较低, 历史上仅发生一次; 前期并未识别出常开接点异常闭合的故障模式以及潜在的跳机风险, 认为该类型开关的风险不高; 不属于单一设备故障导致跳机的重大保护设备, 没有列入老化管理范畴。因此没有建立定期检查、更换等预防性维修策略, 预防性管理策略不完善。

3.2 改进措施

3.2.1 针对试验开关的维修策略改进

(1) 对同类型试验开关进行检查, 完成备件更换; (2) 与厂家沟通, 对设备进行改进升级, 使用更高强度的塑料材质; (3) 根据故障历史和使用年限, 确定了10年定期更换的维修策略。

3.2.2 针对控制设计回路的改进

现在普遍使用DCS控制系统后, 此种试验及灯试的控制设计方案已经不再采用。针对发生故障的控制回路需要设计改进^[3],

方案如下图4所示。在灯试回路中增加一单向导通的二极管, 使得从灯试按钮GSS006T0来的“+”电不能导通作用到跳机保护回路。

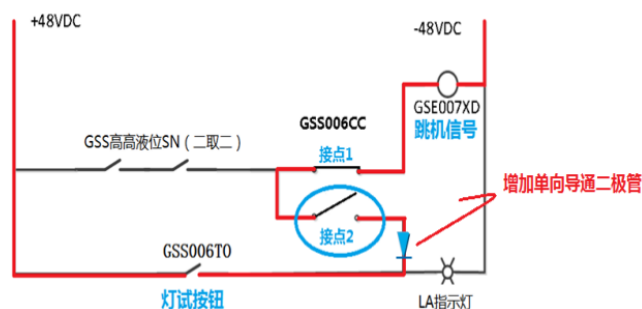


图4 试验切换开关改进方案

4 结语

此次事件的故障模式比较隐蔽, 甚至故障现象还误导了原因分析方向。最后通过多方面收集信息, 包括跳机时相关人员的活动及操作记录信息, 跳机保护回路所有相关设备的故障模式信息等, 最终找到了根本原因。因此认为, 在设备故障原因分析时, 完整的数据信息收集非常重要, 尤其是对于复杂故障模式。

希望能在设备故障原因分析方面, 给大家提供一种思路方法。

【参考文献】

- [1] 广东核电培训中心. 900MW压水堆核电站系统与设备[M]. 2版. 北京: 原子能出版社, 2010.
- [2] 庞松涛. 压水堆核电站过程控制系统[M]. 1版. 深圳: 中国电力出版社, 2014-04-01.
- [3] 吴瑛, 韩广兴. 电气控制线路[M]. 1版. 北京: 化学工业出版社, 2020-04-01.
- [4] 藏希年, 申世编. 核电厂系统及设备[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

作者简介:

张锡轮(1974--), 男, 河南新乡人, 本科, 工程师, 现供职于大亚湾核电运营管理有限公司, 研究方向: 仪控设备的故障模式及故障排查。