

Based on waveform data analysis and equipment disassembly verification: Study on the failure mechanism of PTR001PO power supply switch in a nuclear power plant

Hua Tang

China Nuclear Power Technology Research Institute Limited, Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

On a certain evening in May 2017, after completing the re-supply wiring for a certain PTR001PO, during the trial switching operation, the re-supply switch LKB of a certain switch tripped. The next day, with a first-level ticket, the electrical department operated to perform a start-up test on the certain PTR001PO and recorded the starting current to identify the cause of the fault. This paper comprehensively analyzes the reasons for the tripping of the re-supply switch of a certain PTR001PO based on waveform data analysis and equipment disassembly verification, and formulates an optimization plan and subsequent actions for the root cause. It provides valuable reference and case studies for similar fault analysis, offers a rapid response solution for critical equipment failures caused by switch faults in nuclear power plants, and provides an optimized solution for follow-up measures for similar faults, while also enhancing the reliability of the switch.

Keywords

PTR001PO; power supply switch; tripping; leakage relay; anti-magnetic ring

基于录波数据分析与设备解体验证：某核电站 PTR001PO 再供电开关启动失效机理研究

唐华

中广核研究院有限公司，中国·广东深圳 518000

摘要

2017年5月某晚，在完成某PTR001PO再供电接线后，进行试转向工作时，再供电开关某LKB某开关跳闸。次日，电气持一级票配合运行对某PTR001PO进行点动并对启动电流录波，查找故障原因。本论文对某PTR001PO再供电开关启动跳闸原因，基于录波数据分析与设备解体验证进行了全面分析，并针对根本原因制定了优化方案及后续行动。为同类故障的分析提供了可贵的参考依据及案例分析，为开关故障导致的核电站重要设备不可用提供了快速的处理方案，也为同类故障后续措施提供了优化方案，同时提高了开关的可靠性。

关键词

PTR001PO；再供电开关；跳闸；漏电继电器；防磁环

1 引言

2017年5月某晚，在完成某核电站 PTR001PO 再供电接线后，进行试转向工作时，再供电开关某 LKB 某开关跳闸。次日，电气持票在运行配合下，对 PTR001PO 进行点动并录波，根据点动录波结果初步分析再供电开关跳闸原因为漏电保护延时定值设置不合理。同时，多次大电流冲击使某 LKB 某开关断路器脱扣器出现故障。

2 系统描述

在核电站大修期间 PTR001/002PO 两个泵为乏池冷却提供动力，如失去其一，运行的另一冷却泵存在超流量过载跳闸风险，如出现跳闸故障，则乏池完全失去冷却；核电站 RCD 模式，PTR001PO 跳闸为第二组 I0，乏池水温超过 45℃，停止倒料工作；同时 3 天恢复泵可用；如果乏池水温超过 50℃则记第一组 I0；乏池失冷后超过 50℃后，如果不进行干预致使乏池温度明显升高或乏池冷却剂液位明显下降，应当定为 1 级 LOE。

为 PTR001/002PO 提供电源的 A/B 列配电盘需停电检修，PTR001/002PO 将失去正式供电，针对此风险，会对 PTR001/002PO 进行临时再供电，选取的再供电电源为核电

【作者简介】唐华（1987-），男，中国贵州遵义人，本科，工程师，从事核电站配电运维研究。

站专设电源，与PTR001PO相匹配，属于是固定的专用开关，分别在LKA和LKB配电盘上^[1]。

3 故障跳闸原因分析及改进

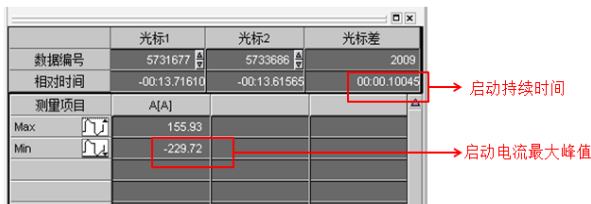
开关故障跳闸后，维修人员对开关进行检查，此次对某PTR001PO进行再供的电源开关为LKB某开关，该开关类型为断路器型供电抽屉，与正式供电抽屉不同类型，正式供电抽屉为接触器型，二者区别在于对过载与过热保护功能实现的载体不同，前者均集合在断路器上，而后者选取的是熔断器加接触器热继电器的形式。查询以往记录，该供电开关为首次进行PTR001PO带载。

根据跳闸抽屉的特性，各保护功能集合在断路器上，在合闸的瞬间，塑壳断路器需要接受启动电流的冲击，根据PTR001PO泵组参数，额定电流为170A。故维修人员对设备启动环节进行录波分析，根据录波数据特征，进行故障解析。

第一次录波，对断路器开关抽屉根据定值手册进行核对设定

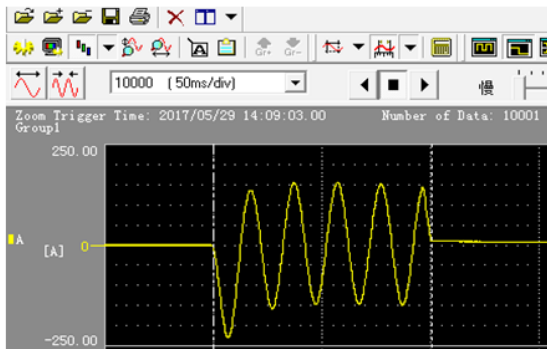
在确认回路电缆绝缘及某PTR001PO电机绝缘直阻均合格后，进行了第一次点动试验，再供电开关某LKB某开关漏电保护动作跳闸，漏电继电器设定值为30A/0s。

根据波形数据，本次点动时，电流波形最大峰值为2297.2A，启动100.45ms后开关跳闸。详见下图



注：电流钳CT变比为500A:500mV；录波器变比为100A:1V；因此现场实际电流为波形数据的10倍

图一 第一次故障波形数据



注：电流钳CT变比为500A:500mV；录波器变比为100A:1V；因此现场实际电流为波形数据的10倍

图二 第一次故障波形图

第二次启动录波，更换同类型抽屉，该抽屉与原抽屉配置与定值无任何差别

为排除漏电继电器本体异常，电气整体更换了再供电

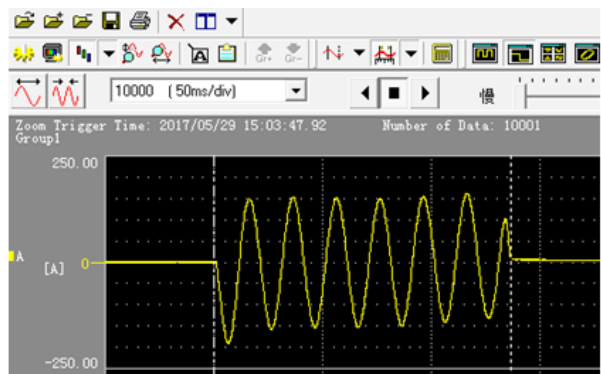
开关，新的再供电开关（某LKA开关）已校验确认漏电继电器正常可用。

随后我们进行了第二次点动试验，启动136.70ms后，新的再供电开关同样由于漏电保护动作跳闸。本次点动时电流波形最大峰值为1908.3A。详见下图。



注：电流钳CT变比为500A:500mV；录波器变比为100A:1V；因此现场实际电流为波形数据的10倍

图三 第二次故障波形数据



注：电流钳CT变比为500A:500mV；录波器变比为100A:1V；因此现场实际电流为波形数据的10倍

图四 第二次故障波形

第三次启动，调整漏电保护继电器定值

再供电开关漏电CT未安装防磁环，启动瞬间的大电流磁场耦合到CT二次侧，导致漏电保护误动。为防止启动瞬间的大电流磁场导致漏电保护误动，经过电气、OPE、值长、安工的讨论，决定将漏电保护延时调整至10s，再次使用原再供电开关（某LKB某开关）进行第三次点动试验^[2]。

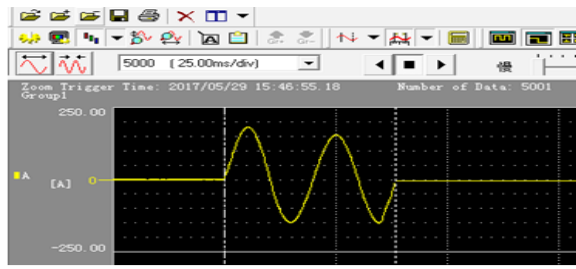
此次点动出现新的故障现象，再供电开关漏电继电器未动作，启动38.40ms后断路器速断保护动作跳闸。此次启动电流波形最大峰值为1821.6A，怀疑断路器在多次大电流冲击下，断路器脱扣器存在异常。

详细波形见下图：



注：电流钳CT变比为500A:500mV；录波器变比为100A:1V；因此现场实际电流为波形数据的10倍

图五 第三次故障波形数据



注：电流钳CT变比为500A:500mV；录波器变比为100A:1V；因此现场实际电流为波形数据的10倍

图六 第三次故障波形

第四次点动（成功）及最后验证

为了排除断路器故障，电气整体更换了再供电开关（某LKA开关，该开关在某02大修时曾带某PTR002PO正常运行），确认新的再供电开关漏电定值已修改为30A/10s后，第四次点动某PTR001PO，启动成功。启动电流峰值基本为1700A（电机额定电流的10倍）左右，启动时间955.8ms。

为了验证可靠性，运行再次点动试验，启动成功，启动参数与第四次一致，恢复PTR001PO的开关可用。

综合录波数据，进行原因分析：

针对此次异常处理，查询各个核电基地该再供电电源开关以及保护定值，提出保护定值进行调整，以躲过启动瞬间电流产生的高磁场对漏电保护继电器的干扰。

解体故障塑壳断路器，对脱扣机构进行检查

固定定值调整机构塑料件弯曲，这就是造成定值漂移的一个重要因素，脱扣机构是直接和定值调整机构连接，固定卡件的弯曲对定值的实际值造成影响，导致定值漂移；双金属片固定槽过热，双金属片存在过热痕迹。

结合这两处严重的异常，断定该断路器存在定值漂移问题，断路器对于大负荷设备来说是很重要的保护元件，如有异常会造成不真实的跳闸，给实际工况带来误判。

4 历史故障报告分析

查询各基地历史故障发现，2015年10月某核电站PTR001PO，主控出现PTR005AA（PTR001PO跳泵），现场检查PTR001PO再供电电源开关LKB开关跳闸，同时发现LKB开关（核岛检修电源DNRY03CR）也在跳闸位置。电气人员检查PTR001PO电机绝缘直阻正常，检查LKB开关无异常，运行人员对PTR001PO重新送电，电机运行正常。

根据可能的跳闸原因进行分析：

开关漏电继电器002XI受干扰误动作。在检查LKB开关跳闸故障时，现场发现LKB（DNRY03CR）开关也因漏电保护动作处于跳闸状态。

这两个开关位于同一列上下排列，（后文称描述为上开关和下开关），上开关的出线电缆与下开关的漏电CT安装位置比较近。怀疑上开关漏电保护动作时，出线电缆的

漏电流与下开关的漏电CT产生耦合，导致下开关漏电保护动作，可能性高。

LKB上开关漏电保护跳闸原因分析：

某厂房提供的三相动力电源的PJ插座为3*380V+PE线，不能使用3*380V+N（即三相四线制）的工具/设备。一旦使用了3*380V+N的工具/设备，就会导致其上游供电开关漏电保护动作。查询历史有数次跳闸记录。电动工具/设备不经过电缆盘直接接到现场供电的PJ箱；电动工具、电缆盘、PJ箱的功率保护选择错误（正确做法：功率值/允许功率值为依次增加），可能出现电动工具故障/过载越级跳上游配电盘开关。检修电源现场使用不规范导致上游配电盘开关跳闸^[3]。

结合此次历史故障，更加确定了没有防磁环对漏电保护继电器的干扰，最后导致开关跳闸。

5 事件结论

结合查询历史记录，原再供电开关（某LKB某开关）为首次带载投运（相当于第一次调试），综合五次启动试验，可得出以下结论：

1. 再供电开关漏电保护延时设置不合理。开关漏电保护延时设为0s时无法躲过启动瞬间大电流的干扰。
2. 原再供电开关的某LKB某开关的断路器脱扣器故障。

6 分析结论

直接原因：再供电电源开关零序互感器没有防磁环，启动大电流产生的磁场叠加到了漏电保护继电器二次侧，造成了漏电保护误动作。

断路器脱扣器定值调整机构变形，以及双金属片有过热痕迹，双金属固定槽过热变形，造成定值漂移，与真实值相差很大，断路器脱扣器动作，导致断路器跳闸。

7 结语

文章通过对再供电电源开关故障模式根本原因及促成原因进行分析，制定了相应的纠正行动，完成完善核电站PTR001/002PO再供电方案，程序中增加漏电定值延时设定的调整以及热过载、速断保护的核实，从而达到完善检修工艺的目的。逐步推动带漏电保护功能的抽屉开关配置防磁环装置，优化供电开关保护稳定性，保障了配电开关在核电站内的稳定运行。

参考文献

- [1] 李天友,郭峰.低压配电的触电保护技术及其发展[J].供用电,2019,36(12):2-8.
- [2] 张立.剩余电流保护技术应用现状与发展趋势[J].产业与科技论坛,2017,16(11):61-62.
- [3] 王超然.故障漏电流特征及其保护方法的研究[D].河北工业大学.2022.