

# 某核电厂 1LHB 母线失电事件原因分析及解决措施

魏巍, 刘爱芬, 纪秀艳, 孟佳

(华龙国际核电技术有限公司, 北京 100037)

[摘要] 本文概述了某核电厂 1LHB 母线失电事件的经过, 分析了事件发生的根本原因和直接原因, 并对 W 相熔断器发生短路时未能正常熔断的故障机理进行分析。本文提出了对此次失电事件的解决措施, 并对后续应改进的问题进行了总结, 对其他核电站的安全运行具有一定的参考借鉴意义。

[关键词] 核电厂; 短路; 绝缘子; 熔断器

[中图分类号] TM774

[文献标志码] B

[文章编号] 1003-8884(2021)01-0080-04

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.01.018

## 1 事件概述

某核电厂某日发生了 1LHB 母线失电事件。事后, 通过故障时序记录和故障录波图得知: 1 号机组重要厂用水系统 4 号泵电机(1SEC004MO)的接线盒 W 相出现接地故障, 导致三相电压不平衡; 5 秒后, 接线盒 U/W、V/W 相间出现短路。14 毫秒后, 1SEC004MO 泵电机进线开关熔断器 U 相和 V 相相继熔断, 但熔断器 W 相未能正常熔断, 随后在熔断器靠母线端发生三相短路, 短路电流峰值为 46 kA。269 毫秒后, 正常进线开关 1LHB001JA 因进线过流保护动作跳闸, 1LHB 母线失电。同时 1LHQ 柴油机起动, 但因 1LHB 母线故障, 柴油发电机无法接入, 1 号机组按照 SOP 规程响应后撤。次日清晨, 完成手动停堆。

在机组进入事故规程、手动停堆后, 执行降温降压操作向 NS/RRA 模式(RRA 冷却正常停堆模式)后撤。机组完成对电源的检查维护后, 1LHB 母线恢复送电。

## 2 原因分析

### (1) 根本原因

本事件中 SEC 泵(重要厂用水系统泵)的配套电机所使用的老款绝缘子材料为“不饱和聚酯纤维增强模塑料 4332(DMC)”, 在 SEC 泵房易潮湿的环

境下, SEC 泵电机绝缘子易于出现绝缘降级。该核电站在此前 SEC 泵电机预防性维修工作中, 维修人员确实发现该电机的绝缘、吸收比、极化指数出现不满足验收标准要求的情况。出现此情况时, 维修人员一般会使用压缩空气吹扫电机定子膛, 并再次测量电机绝缘、吸收比和极化指数直至确定满足要求。经核实, 该电机生产企业于 2009 年颁布了新版验收标准《绝缘子技术条件(OEE.058.001—2009)》, 但此前本文所谈核电站已完成设备采购并进入施工阶段, 故其使用的是老款绝缘子材料, 只满足旧版验收标准的要求, 未能满足新版验收标准中“4.4 绝缘子材料性能 吸水性( $23 \pm 1^\circ\text{C}$ )  $\leq 20\text{ mg}$ , 浸水 24 h 后绝缘电阻  $\geq 1.0 \times 10^7\ \text{M}\Omega$ ”的规定。

由此得知, 绝缘降级的隐患是存在的, 本次 4 号泵电机(1SEC004MO)在绝缘套管处出现 W 相接地短路故障分析认为是由潮湿环境下绝缘子的绝缘降级导致爬电事故引起的, 见图 2、图 3 和图 4。

该核电厂 1 号机组的中压应急配电系统为中性点不接地系统<sup>[1-3]</sup>, 在电机发生单相接地故障时, 系统绝缘性能的设计应能允许 SEC 泵在一定时间内带故障运行, 以保证系统的整体功能, 操作人员应在该时间内尽可能的排查出故障。但由于 4 号泵电机(1SEC004MO)绝缘性能不良导致绝缘在短时间内被击穿。

### (2) 直接原因

该核电厂厂用电系统的设计中考虑了 4 号泵电机(1SEC004MO)发生相间短路故障时可通过该电机的供电开关熔断器来隔离短路故障, 防止故障蔓延。

[收稿日期] 2020-10-16

[作者简介] 魏巍(1987-), 女, 吉林辽源人, 工程师, 硕士, 主要从事核电厂电气设计工作。

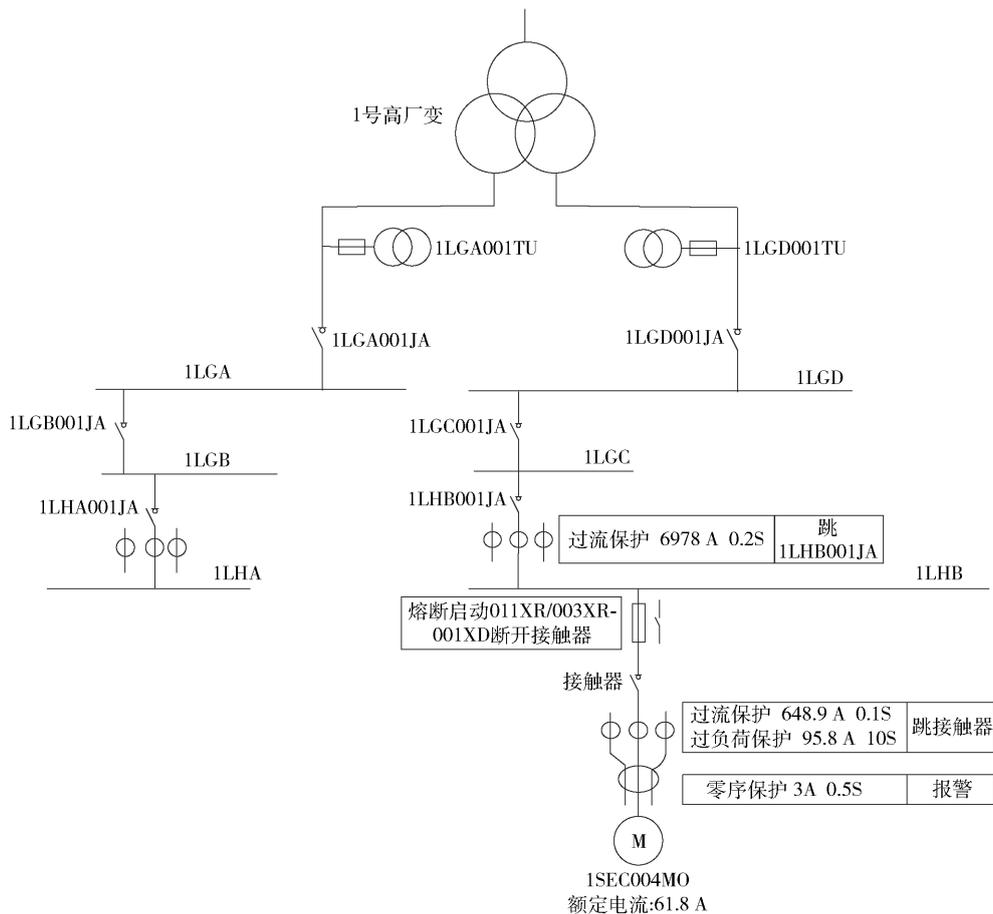


图1 某核电厂 6.6 kV 一次系统图



图2 电机 V 相和 U 相绝缘子

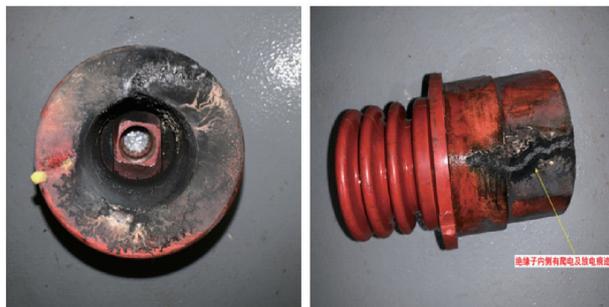


图3 电机 W 相绝缘子



图4 电机三相引线

经研究调查发现(见图5),在本次事件中,4号泵电机(1SEC004MO)的供电开关熔断器U相和V相正常熔断,但熔断器W相未能正常熔断,发生了电弧放电事件,电弧放电产生的带电粉尘导致SEC泵配电柜开关小室内空气绝缘下降,最终引发应急母线1LHB三相短路,由此分析判断这应是故障向应急母线扩展的直接原因。



图 5 事件发生后三相熔断器外观形貌

### 3 W 相熔断器故障机理分析

由于发生了 W 相熔断器未能熔断的现象,故进一步对熔断器本体进行研究,对其是否可能存在的质量问题进行排查,可以从以下几个方面进行排查<sup>[4-5]</sup>:

- (1) 熔断器骨架开裂;
- (2) 内部石英砂填充不足;
- (3) 熔断器熔丝端部脱焊或熔丝断裂;
- (4) 熔丝排列变形(包络线)或错位,主要为熔丝贴近熔壳管壁或两个和多个熔丝变形贴近。

由图 6 可以看出,由于 W 相熔断器一根熔丝端部脱焊,从而引起熔断器 W 相未能正常熔断。导致 W 相熔断器一根熔丝脱焊的原因有以下两种可能:



图 6 事件发生后 W 相熔断器

- (1) W 相熔断器一根熔丝未焊接牢固;

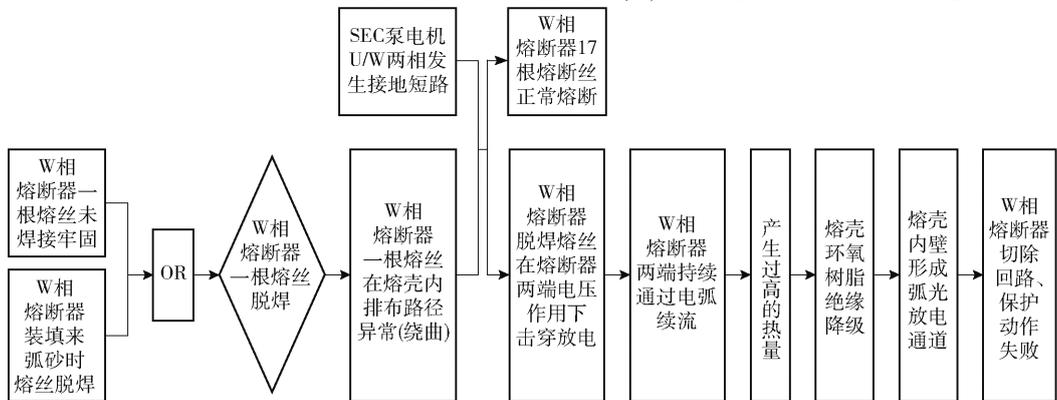


图 7 W 相熔断器故障机理

- (2) W 相熔断器装填灭弧砂时导致熔丝脱焊; 现对事件发生时熔断器 W 相出现异常未能正常熔断的故障机理进行分析,如图 7 所示:

## 4 解决措施

### 4.1 立即执行的整改措施

该核电厂在发生 1LHB 母线失电事件后,为了避免类似事件在短时间内再次发生,采取了一系列立即整改措施。具体措施如下:

- (1) 对 1SEC004MO 电机进行了更换,确保 1SEC004MO 电机在后续发电过程中能够继续安全运行;
- (2) 对该核电厂 SEC 泵电机的绝缘材料开展普查,筛选出采用老款材料的全部 SEC 泵电机绝缘子,并进行实施更换;
- (3) 对 1LHB0802 配电柜里面的开关进行整体更换;
- (4) 将全厂 SEC 泵电机的零序保护由投报警改为投跳闸,避免报警时 SEC 泵短时间带故障运行导致如果绝缘不满足要求被击穿类似的事件再次发生;
- (5) 采用厂家熔断器专用检测工具排查并确认熔断器的状况。

### 4.2 建议后续继续完善的措施

此次事件暴露了一些问题,为设计和运行维护敲醒了警钟。为了避免后续发生类似事件,建议考虑如下解决措施:

- (1) 应对核电厂在运中压系统熔断器开展全面专项检查,避免熔断器在应该动作时发生一相或两相未熔断等类似事件的发生;
- (2) 对核电厂其他设备的电机绝缘子进行排

查,若有与某公司生产的 SEC 泵电机同类型的绝缘子,则全部进行更换或绝缘子改造换型;

(3)对换型的绝缘子要求按照国家标准提供型式试验报告,并建议开展相关的设备老化寿命试验和评估;

(4)对核电厂 6.6 kV 中压系统的系统电容电流进行重新校核和评估,对可能存在的弧光接地过电压水平和弧光接地电流的危害性做出评价,提出限制措施;

(5)对中压系统电动机负荷保护熔断器的选型开展核算和评估,进一步确保其适宜性,并研究采用真空断路器开合电动机的可行性。

## 5 总结

本次事件发生后,电厂操纵员按照 SOP 规程(状态导向事故规程)使 1 号机组及时响应后撤,完成机组的手动停堆,确保了核电安全。但电厂一次停堆会带来一定的经济损失,为确保电力可靠供应,不再发生类似事件,建议如下:

(1)应对潮湿环境下的所有电机所用的绝缘子在质量和验收上进行更加严格的把控,加强绝缘子性能验收的环节把控。绝缘子材料在潮湿环境下,不应出现绝缘降级现象。

(2)目前,业内通常做法是在熔断器出厂检验

中对熔断器仅有系统的常规质量检控。熔断器日后运维过程中,也不会有更加深入的检查。为了避免类似事件的发生,建议对核电厂在运中压系统熔断器开展全面专项检查,并优化现有的维修大纲,增加对熔断器检查项目,主要包括:熔断器外观目视检查和熔断器称重、熔断器 X 光射线扫描检查、熔断器冷态电阻测试和评价、熔断器撞针机构检查、配电盘活门机构至熔断器的距离测量等方面。

在后续设计、验收和维护过程中,对以上两个问题进行改进,可以减少此类事件发生的概率,提高核电厂的供电可靠性,进一步保证核电厂能够安全可靠运行。

### [参考文献]

- [1] 中国航空工业规划设计研究院. 工业与民用配电设计手册(第四版)[M]. 北京:中国电力出版社,2016.
- [2] 黄晓燕. 电网中性点接地方式浅析[J]. 建筑电气,2009(8):15-17.
- [3] 王丙东,蔡蕾,董旭,等. 中性点不接地系统非对称短路故障分析[J]. 电力系统保护与控制,2017,45(3):149-153.
- [4] 毛柳明,文远芳,周挺. 高压限流熔断器熔断过程及过电压研究[J]. 高电压技术,2008,34(4):820-823.
- [5] 吴玮,王光辉,杨伟强. 白山水电站高压熔断器故障分析及处理[J]. 东北电力技术,2014,35(1):23-25.

## Cause Analysis and Solution Measures of a Power Loss Event of 1LHB bus in a Nuclear Power Plant

WEI Wei, LIU Ai-fen, JI Xiu-yan, MENG Jia

**Abstract:** This paper summarizes the process of 1LHB bus power loss event in a nuclear power plant, analyzes the root cause and direct cause of the event, and analyzes the failure mechanism of W-phase fuse failure to normal fusing when the short circuit occurs. This paper puts forward the measures to solve the power loss event and summarizes the problems that should be improved in the future, which has certain reference significance for the safe operation of other nuclear power plants.

**Key words:** nuclear power plant; short circuit; insulator; fuse

