

核电厂低压交流配电盘漏电保护误动分析及改进措施研究

周浩, 熊高翔

大亚湾核电运营管理有限责任公司, 广东 深圳 518000

DOI:10.61369/ETQM.2026070005

摘 要 : 本文对核电厂低压交流配电盘漏电保护误动现状进行梳理, 对漏电保护误动典型案例解析目前存在的薄弱点, 并结合现场实际情况提出相应改进措施。低压交流配电盘, 根据负荷特点为负荷功率在55kW及以上的馈线回路、负荷为配电箱或者配电柜的馈线回路配置漏电保护, 以防止设备故障扩大, 但从历史统计情况看漏电保护误动事件时有发生, 保护误动导致重要负荷意外停运, 给机组正常运行带来风险。通过分析发现漏电保护误动主要故障模式有继电器定值设定不合理或定值漂移、漏电继电器检测回路接触不良、漏电继电器检测回路存在电场干扰等, 本文针对以上薄弱点提出改进措施, 可有效提高低压交流配电盘漏电保护可靠性, 减少漏电保护误动事件的发生。

关 键 词 : 低压交流配电; 漏电保护; 误动; 改进措施

Research on Misoperation Analysis and Improvement Measures of Leakage Protection for Low-Voltage AC Distribution Panels in Nuclear Power Plants

Zhou Hao, Xiong Gaoxiang

Daya Bay Nuclear Power Operations and Management Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract : This paper sorts out the current situation of maloperation of leakage protection in low-voltage AC distribution panels of nuclear power plants, analyzes the existing weak points through typical cases of leakage protection maloperation, and puts forward corresponding improvement measures combined with actual on-site conditions. For low-voltage AC distribution panels, leakage protection is configured for feeder circuits with a load power of 55kW and above, as well as feeder circuits supplying distribution boxes or cabinets according to load characteristics, so as to prevent the expansion of equipment faults. However, historical statistics show that maloperation events of leakage protection occur from time to time. Such maloperations cause unexpected shutdowns of important loads and bring risks to the normal operation of units. Analysis reveals that the main fault modes leading to leakage protection maloperation include unreasonable setting or drift of relay fixed values, poor contact in the detection loop of leakage relays, and electric field interference in the detection loop of leakage relays. Targeting the above weak points, this paper proposes improvement measures, which can effectively enhance the reliability of leakage protection for low-voltage AC distribution panels and reduce the occurrence of leakage protection maloperation events.

Keywords : low-voltage AC power distribution; leakage protection; maloperation; improvement measures

引言

核电厂低压交流配电盘选用施耐德电气产品, 配电盘配置 Sepam80 综合保护单元, 实现零序过流保护、过流保护、低电压保护功能。

馈线单元根据负荷不同, 通常配置短路保护、过载保护, 为限制接地故障电流, 避免设备故障扩大或人员触电, 55kW 及以上的馈线回路、负荷为配电箱或者配电柜的馈线回路设漏电保护, 漏电保护继电器型号为 RH197P^[1]。

一、漏电保护功能和检测原理

漏电保护主要功能：在设备发生漏电故障初期或人员触电时切断被监测系统的电源，避免设备故障扩大或人员触电。

检测原理：漏电继电器通过穿入主回路的零序电流互感器进行检测，检测主回路中是否存在接地电流；当主回路绝缘下降或接地时，零序互感器会感应到一个不平衡电流矢量和信号，该信号送入漏电继电器进行放大后，监测漏电流是否超过整定值^[2]。

（一）开关漏电检测回路介绍

开关电气典型图如图1所示，正常运行时，漏电继电器002XI带电工作，若漏电继电器动作，其常闭触点31-32断开，常开触点31-34闭合；所对应的控制回路中，故障监测继电器001XK失磁，白色故障灯亮，跳闸线圈001EA励磁，作用于断路器001JA跳闸。

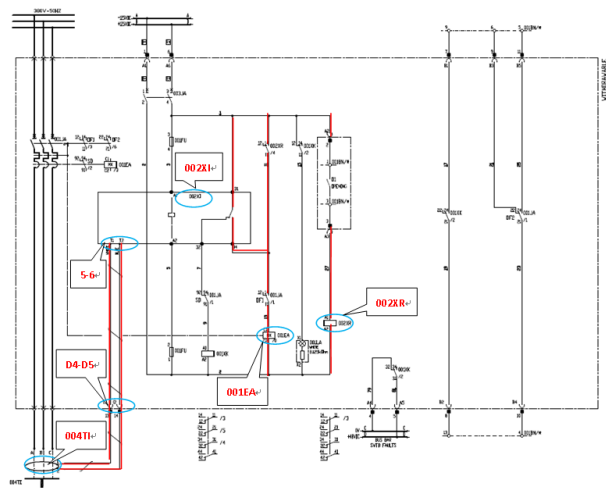


图1 开关电气接线典型图

（二）RH197P型漏电继电器简介

RH197P型继电器为施耐德电气成熟产品，广泛应用于某电厂低压交流配电盘上。

继电器电流保护整定值在0.03-30A范围内19档选择设定，时间整定值可以在0.06-4.5s范围内7个设定值中选择。正常工作时，继电器面板上绿色运行指示灯亮。继电器可储存漏电流故障信息，并在超过动作电流设定值时，发出断路器分断指令。即：根据检测到的漏电流大小，面板上黄色指示灯依次显示从20%、30%、40%、50%In到“Fault”红色指示灯亮，继电器动作，动作后黄色指示灯熄灭，红色指示灯常亮。

该型号漏电继电器具备连续自我监测功能，即连续监测电源、继电器/环形电流互感器的连接以及内部电子电路装置。当检测不到回路电流时会发出信号，断开动力电源。继电器前面板的LED指示灯也可随时对设备运行状况进行监测。

二、某电厂低压交流配电盘漏电保护误动情况

2014年4月18日开关因漏电保护动作而跳闸，开始开展电流互感器插接线鼻子部位作锡焊处理的专项行动；2016年12月29

日再次发生同类开关跳闸事件，分析原因为开关漏电继电器检测信号回路存在接触不良，采取焊接继电器T1-T2端子的措施，在2017年完成同型号继电器治理。

虽然经过整治漏电保护误动情况明显好转，但仍时有发生，近期典型事件如下：

2022年3月2日，下游电机运行过程中上游开关漏电保护动作跳闸，经分析和排查，排除压缩机启动漏电流大和下游负载接地或绝缘低故障的可能性，但无法排除漏电继电器误动可能性。

三、漏电保护误动原因分析

根据漏电保护原理及历史检查经验，编制《低压电气开关跳闸故障树》，其中开关漏电保护误动故障模式如下（如图2所示）：

事件描述	顶事件	逻辑门	事件
漏电保护误动作	漏电继电器误动	或门	继电器定值设定不合理
			继电器定值漂移
	漏电继电器检测回路接触不良	或门	电流互感器本体接线端子接触不良
			开关二次插排变形或松动
			漏电继电器底部端子T1-T2接触不良
	漏电继电器检测回路存在电场干扰	或门	漏电检测回路接线虚接
			下游负荷启动产生的不平衡电流
			二次电缆距离动力电缆距离过近
			电流互感器与动力电缆安装相对位置不合理

图2 低压电气开关跳闸故障树漏电继电器故障部分内容摘录

以2022年3月2日，电机运行过程中电气开关跳闸为典型案例，结合故障树模型对漏电保护误动原因进行分析。

（一）漏电继电器误动作

1. 继电器定值设定不合理

低压电机回路部分开关漏电保护定值设计偏小且过于灵敏，且电机、电缆随运行时限增加出现老化导致设备正常运行时漏电流有所增加，为降低电机启动过程中电气开关跳闸的风险，对低压电机漏电继电器保护定值进行评估及适应性调整。

根据厂用继电器饱和整定值计算导则（DL-T1502-2016）^[3]：电动机启动时最大不平衡电流：

$$I_{O.OP.0} = K_{ub} I_{M.N}$$

K_{ub} —— 不平衡电流系数，取0.05~0.15，小容量电机取较大系数，大容量电机取小系数；

$I_{M.N}$ —— 低压电动机一次额定电流；

跳闸电机额定功率为171kW，不平衡电流系数取系数0.05，计算不平衡电流为16.2A。根据评估结论对电源开关漏电保护定值调整为20A，0.5s，执行校验合格。

在2022年3月4日该电机制冷机组启动过程中，在上游开关录取漏电流为1.88A（星型）/2.49A（三角形），运行电流约84A，运行漏电有效值373mA。实际漏电流未达到电流整定值。此原因可排除。

2. 继电器定值漂移

根据《RH197P型漏电保护继电器校验》文件，校验零序继电器：80% $I_{\Delta n} \leq$ 动作电流值 $\leq$ 100% $I_{\Delta n}$ 、 $T_{set} \leq$ 动作时间

$\leq T_{set}+0.4S$ 为合格。

对开关漏电继电器进行校验，动作定值：17.2A，延时：0.687s，结果合格。此原因可排除。

（二）漏电继电器检测回路接触不良

该型号漏电继电器具备连续自我监测功能，当检测不到回路电流时会发出信号，并可断开断路器。其试验特性为：漏电检测回路接触电阻增大至 330Ω 以上，继电器“Fault”红色指示灯会出现持续闪烁现象；若接触电阻恢复至 280Ω 以下，继电器恢复正常动作时红色指示灯常亮状态。

漏电电流检测回路在继电器内部通过电路板焊接固定，从继电器底座到电流互感器有三处连接点，即电流互感器引出线插片、抽屉内插排、漏电继电器底部端子 T1-T2。以下三种情况可能引起检测回路接触不良：

1. 电流互感器本体接线端子接触不良

开关电流互感器独立安装在开关出线仓室内，互感器本体端子采用插片与插头连接。检查开关的电流互感器插片与插头间已进行锡焊处理，插片连接固定状态相对良好，此可能性低。

2. 开关二次插排变形或松动

开关二次插排采用开关本体插片与仓室内插排插接的方式连接。开关推入后，插片横向进入插排上下间隙，与金属卡口接触。现场检查开关抽屉二次插片及开关仓室插排，未发现变形、松动、氧化的情况，此可能性较低。

3. 漏电继电器底部端子接触不良

根据历史经验反馈，已对开关漏电继电器底部 T1-T2 插件作焊接，接触可靠，可以排除。

4. 漏电检测回路接线虚接

对开关漏电检测回路各元件端子进行检查，未发现虚接情况，可以排除。

另一方面，根据施耐德厂家 RH197 型漏电继电器手册，当继电器 / 电流互感器连接故障无电压时，故障指示灯应表现为“闪光”。根据该漏电继电器试验特性，漏电检测回路接触电阻超过 330Ω ，会出现继电器故障指示灯持续闪烁现象；若接触电阻恢复至 280Ω ，继电器恢复正常动作时红色指示灯常亮状态。

跳闸开关漏电继电器故障指示灯长亮，与手册中状态不相符，即观察到该现象时，继电器 / 电流互感器回路未呈现出连接故障，但不能排除漏电检测回路接触电阻从大于 330Ω 恢复至 280Ω 以下的情况。

根据漏电继电器检测回路各部件状态检查情况，硬接线上接触不良可能性可排除；而根据厂家产品试验特性和故障现象，存在漏电检测回路接触电阻变化的可能性。

（三）漏电继电器检测回路存在电场干扰

1. 下游负荷启动产生的不平衡电流

制冷机组压缩机电机功率为 171kW，启动瞬间会因绝缘材料内产生的电导电流、电容充放电电流、吸收电流形成一定漏电流。

根据收集到的现场信息，电机已经启动处于运行状态，非启动工况下回路产生的漏电流相对较小（通常为数百毫安级别）。此

原因可能性低。

2. 二次电缆距离动力电缆距离过近

开关漏电继电器二次控制电缆与动力电缆布置的路径不同，不存在交叉和并行，动力回路对控制回路产生干扰可能性小，此原因可排除。

3. 电流互感器与动力电缆安装相对位置不合理

检查三相动力电缆从电流互感器相对中间的位置穿过，现场电流互感器固定相对牢靠。

根据厂家漏电故障保护继电器手册环形电流互感器安装要求，需要满足：

- a. 将电缆置于环形电流互感器中心；
- b. 环形电流互感器内径大于等于 2 倍全部电缆线径；
- c. 不要在互感器周围弯曲电缆。

开关动力电缆与漏电保护配套用电流互感器相对位置可知：动力电缆未严格置于环形电流互感器中心，电流互感器内径满足大于 2 倍全部电缆线径，动力电缆在互感器周围弯曲，电缆直线段长度（负荷侧：100mm 以内，电源侧：约 200mm）不满足大于等于互感器内径（GA300 型为 299mm）的要求^[4]。

根据厂家技术人员反馈，动力电缆和电流互感器需按照产品手册安装，否则容易产生误跳（产品研发阶段试验结论）。然而，现场动力电缆和电流互感器的安装位置相对固定，未发生明显的变动，此原因可能性低。

（四）处理情况

根据分析结论以及现场检查情况，对开关漏电保护跳闸回路进行全面整治，包括更换漏电继电器、电流互感器，并对相应端子进行焊接，同时增加屏蔽线接地等整治措施，至今历经一年半时间，设备运行正常。

四、漏电保护误动改进措施探讨

根据开关漏电保护误动故障模式以及现场检查分析经验，在满足国标要求的基础上结合现场实际情况提出安装及维修策略改进措施：

（一）漏电继电器检测回路接触不良

漏电继电器检测回路连接点主要有电流互感器本体接线端子、开关抽屉二次插排插件、漏电继电器本体端子，预防措施：

- 1. 初始设计上尽量减少连接点，如电流互感器安装至开关抽屉中，可减少开关抽屉二次插排插件连接点。
- 2. 连接点端子尽量采用螺丝紧固方式，若为插接建议进行焊接。
- 3. 连接点为插接方式的应为多点面接触，尽量避免单点接触方式。
- 4. 增加预防针校验项目，根据配电盘检修窗口对漏电检测回路接线检查。

（二）漏电继电器检测回路存在电场干扰

- 1. 漏电继电器采样回路应配置屏蔽线并接地，提高抗干扰能力。

2. 漏电继电器控制电缆与动力电缆所在路径不存在交叉和并行。

3. 电流互感器应配置屏蔽环。

4. 电流互感器与动力电缆位置应尽可能满足：a. 将电缆置于环形电流互感器中心；b. 环形电流互感器内径大于等于2倍全部电缆线径；c. 不要在互感器周围弯曲电缆的要求，若因安装空间导致无法满足应在首次启动时检测继电器感应电流并进行评估。

（三）继电器定值设定不合理

针对负荷、电缆随运行时限增加出现老化导致设备漏电电流增加情况，建议对重要负荷启动时进行漏电电流监测，及时对漏电继电器保护定值进行评估及适应性调整。

（四）继电器定值漂移

针对漏电继电器保护定值增加预防性校验项目，根据配电盘检修窗口对保护定值进行校验，确保定值可靠。

五、总结

根据开关漏电保护误动故障模式，结合典型案例现场检查以及分析经验，分别从漏电继电器检测回路接触不良、漏电继电器检测回路存在电场干扰、继电器定值设定不合理、继电器定值漂移四个方面提出漏电保护可靠性提升措施，可供同类低压交流配电盘漏电保护可靠性提升参考。

参考文献

[1]GB_50054-2011 低压配电设计规范。
[2]GB_13955-2005 剩余电流动作保护。
[3]DL/T1502-2016 厂用电继电保护整定导则。
[4]施耐德产品说明。