

一起典型 110kV 变压器差动保护跳闸事故的分析与处理实践

罗恒亮¹, 郑双蕾², 陈海洋³, 王连强¹

1、南水北调东线江苏水源公司有限责任公司维修检测中心, 江苏 扬州 225002

2、南水北调东线江苏水源公司有限责任公司扬州分公司, 江苏 扬州 225002

3、盐城市市区防洪工程管理处, 江苏 盐城 224001

DOI: 10.61369/SSSD.2025110035

摘 要 : 在南水北调工程中, 大型泵站的重要电气设备安全运行至关重要, 目前这类泵站普遍采用微机继电保护装置作为核心保护手段。当前各厂家生产的微机继电保护装置, 除具备对电气设备的保护功能外, 还集成了完善的故障信息记录模块。当电气设备发生故障时, 该装置在发出动作指令以实现设备保护的同时, 能够精准记录故障类型、发生时刻及关键电气量等核心数据。实践表明, 依托这些记录信息展开深度分析, 并结合继电保护校验仪进行故障模拟验证, 可实现故障点的快速定位与精准排查, 从而有效缩短设备恢复时间, 保障泵站电气系统的稳定运行。

关 键 词 : 南水北调; 泵站; 变压器; 微机继电保护装置

A Typical 110kV Transformer Differential Protection Trip Accident Analysis and Treatment Practice

Luo Hengliang¹, Zheng Shuanglei², Chen Haiyang³, Wang Lianqiang¹

1.Maintenance and Inspection Center of Jiangsu Water Source Company Limited of the Eastern Route of the South-to-North Water Diversion Project Maintenance and Testing Center of Jiangsu Water Source Company Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu 225002

2. Yangzhou Branch of Jiangsu Water Resources Co., Ltd., East Route of the South-to-North Water Diversion Project, Yangzhou, Jiangsu 225002

3. Yancheng Urban Flood Control Engineering Management Office, Yancheng, Jiangsu 224001

Abstract : In the South-to-North Water Diversion Project, the safe operation of important electrical equipment in large pump stations is crucial. At present, this type of pump station generally uses microcomputer relay protection devices as the core protection means. Currently, the microcomputer relay protection devices produced by various manufacturers not only have the protection function of electrical equipment, but also integrate a complete fault information recording module. When an electrical equipment fails, the device can accurately record core data such as the fault type, occurrence time and key electrical quantity while issuing action commands to achieve equipment protection. Practice shows that relying on these recorded information to carry out in-depth analysis and combined with relay protection calibrator for fault simulation verification can achieve rapid positioning and accurate inspection of fault points, thereby effectively shortening the equipment recovery time and ensuring the stable operation of the electrical system of the pump station.

Keywords : South-to-North Water Diversion; pumping station; transformer; microcomputer relay protection device

一、工程概况

(一) 泵站一次电气系统概况

南水北调洪泽站(下面简称洪泽站)是南水北调东线第三梯级泵站之一, 位于淮安市洪泽区境内的三河输水线上, 其作用是将第二梯级南水北调金湖站抽送的长江水送入洪泽湖。

泵站装有5台立式混流泵, 配套3550kW 立式同步电机, 额

定电压10kV, 额定转速125r/min, 主电机带反转发电功能, 采用降转速运行方案, 泵站主电机转速为75r/min, 频率为30Hz, 通过变频发电机组将主机组发出的频率为30Hz 电能转换为50Hz 后并网。

(二) 110kV 变压器保护配置

为了满足上述保护的配置要求, 洪泽站110kV 变压器配有差动保护装置整定值见表1:

表1 洪泽站110kV 变压器保护整定值

保护类型	装置型号	定值名称	整定值	整定时间	动作
变压器差动保护	南瑞继保 PCS-9671	差动速断	$6I_e$	0ms	跳闸
		比率差动	$I_{cdqd}=0.3I_e$ $K_1=0.5$	0ms	跳闸
		二次谐波制动	0.15	—	—

二、故障分析与处理

（一）故障发生

2020年12月25日，洪泽站首次采用变频发电机组进行发电运行，在变频发电机组投运过程中，合上同步发电机断路器23ms后，110kV 变压器差动保护装置 PCS-9671 比率差动发生动作，跳开110kV GIS 断路器，A、B、C 相差动电流分别为2.809I_e、3.065I_e、2.745I_e。

根据南瑞继保 PCS-9671 装置技术说明书，比较变压器各侧电流值时，应当基于本侧变压器容量、电压等级和 CT 变比的二次等值额定电流 I_e 为基准。在现场实际使用了变压器差动继电保护装置的一侧和四侧保护电流回路

$$\text{一侧的二次等值额定电流: } I_{e1} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{n1} \cdot CT_{R1}} \quad (1)$$

其中：

I_{e1} 为一侧的二次等值额定电流、S_n 为变压器额定容量、U_{n1} 为一侧铭牌电压、CT_{R1} 为一侧电流互感器变比，即 CT₁₁/CT₁₂

$$\text{同理，四侧的二次等值额定电流: } I_{e4} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{n4} \cdot CT_{R4}} \quad (2)$$

带入现场设备参数，得出一侧等值额定电流 I_{e1}=2.187A，四侧等值额定电流 I_{e4}=11.456A。

（二）故障数据分析

通过查询保护装置可知，当故障发生时，一侧 A 相二次电流采样值为2.99A，四侧 A 相二次电流采样值为16.45A^[1]。

折算成标么值：

$$I_{a1} = \frac{2.99A}{2.187A} = 1.367I_e \quad I_{a4} = \frac{16.45A}{11.456A} = 1.436I_e$$

根据纵联差动保护的原理结合南瑞 PCS-9671 技术说明书可知，I_{a1} 与 I_{a4} 的电流方向均应指向变压器，即 I_{a1} 与 I_{a4} 的电流方向相差180°^[2]。

将 I_{a1} 与 I_{a4} 带入差动、制动电流计算公式：

$$I_{da} = |\dot{I}_{a1} + \dot{I}_{a4}| = |1.367I_e - 1.436I_e| = 0.069I_e \quad (3)$$

$$I_{ma} = \frac{|\dot{I}_{a1}| + |\dot{I}_{a4}|}{2} = \frac{1.367I_e + 1.436I_e}{2} = 1.402I_e \quad (4)$$

(0.068I_e, 1.402I_e) 计算点1处于纵联差动保护动作特性曲线的制动区，差动继电保护装置应不动作。但实际差动继电保护装置差动保护发生动作，差动继电保护装置显示 A 相差动电流为2.809I_e^[3]。假设 I_{a1} 与 I_{a4} 的电流方向相同，将 I_{a1} 与 I_{a4} 带入差动、制动电流计算公式：

$$I_{da} = |\dot{I}_{a1} + \dot{I}_{a4}| = |1.367I_e + 1.436I_e| = 2.803I_e \quad (5)$$

$$I_{ma} = \frac{|\dot{I}_{a1}| + |\dot{I}_{a4}|}{2} = \frac{1.367I_e + 1.436I_e}{2} = 1.402I_e \quad (6)$$

(2.803I_e, 1.402I_e) 计算点2处于纵联差动保护动作特性曲线的动作区，差动继电保护装置动作，发出跳闸指令，同时可以发现差动电流计算值 I_{da} 与继电保护装置差动电流采样值基本一致^[4]。故障时，继电保护装置 I_{a1} 与 I_{a4} 夹角采样为335°。

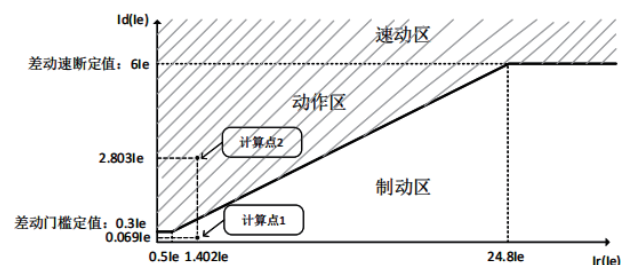


图1 计算点1、2在差动保护动作特性曲线的位置

从上文可知 I_{a1} 与 I_{a4} 的电流方向相差180°，结合变压器的接线组别 YNd11，因此正常运行时，I_{a1} 与 I_{a4} 的夹角应为150°，而实际 I_{a1} 与 I_{a4} 的夹角为25°（采样值为335°）^[5]。

结合 I_{a1} 与 I_{a4} 差动电流值的计算及夹角采样值，可以判断出接入继电保护装置 I_{a1} 与 I_{a4} 的电流方向是相同，而差动继电保护装置要求各侧保护电流回路中电流方向均指向变压器，即 I_{a1} 与 I_{a4} 电流方向相反^[6]。

三、故障处理

（一）模拟故障进一步确定问题原因

为进一步排查故障点，使用继电保护校验仪模拟故障，在110kV 变压器差动保护装置 PCS-9671 的一侧加入幅值为2.99A、相间角度相差120°的三相电流，在四侧加入幅值为16.45A、相间角度相差120°的三相电流，在加量的一瞬间，差动保护装置比率差动保护发生动作^[7]。检查其采样值 A、B、C 相差动电流分别为2.806I_e、2.804I_e、2.808I_e，制动电流为1.402I_e、1.407I_e、1.405I_e，一侧三相电流与四侧三相电流夹角采样值相差330°，与故障发生时情况基本一致^[8-10]。

将四侧的电流角度调整与一侧电流角度相反，发现差动保护装置比率差动保护未发生动作。检查其采样值，A、B、C 相差动电流分别为0.072I_e、0.062I_e、0.066I_e，制动电流分别为1.403I_e、1.405I_e、1.404I_e，处于差动特性曲线的制动区，继电保护装置不动作，同时一侧三相电流与四侧三相电流夹角采样值相差150°，与发电工况下，设备正常运行的情况一致^[11-12]。进一步判断，差动继电保护装置本身软硬件无问题，问题出在接入差动继电保护装置一、四侧保护电流回路的二次电流上，并推断可能是由于接入一、四侧电流互感器二次接线极性接反造成其中某侧电流方向未指向变压器^[13-14]。

（二）检查电流互感器及其二次接线并处理

检查同步发电机柜 A、B、C 相，3只电流互感器保护用5p20绕组极性接反。调整该绕组极性接线，重新开展变频发电机组投运流程，变频同步发电机组开机正常，运行稳定。

四、结语

根据微机继电保护装置在故障发生时所记录的故障信息，结合保护原理、继电保护装置的技术特点加以分析，并使用继电校

验仪模拟故障进一步明确故障原因，可以大幅提高电气设备故障排查的效率与准确性，给类似的电气设备故障排查提供了一种解决思路。

参考文献

[1] 王淋, 林晨旭. 水电站水轮机组状态监测与故障诊断技术研析 [J]. 电力设备管理. 2025(14).
[2] 令狐克诚. 水电站水轮机组远程监测系统设计与实现 [J]. 科技创新与应用. 2022(23).
[3] 周刚. 继电保护技术在变压器故障解决中的应用分析 [J]. 中国设备工程. 2021(06).
[4] 梁智清. 变压器故障检测中电气试验的关键应用 [J]. 电工技术. 2023(08).
[5] 刘高永. 电气试验在变压器故障分析中的应用 [J]. 集成电路应用. 2022(04).
[6] 郭延平, 袁博, 郭涛, 阎飞宇. 变压器故障分析与检修技术 [J]. 电站系统工程. 2022(03).
[7] 李游, 高海龙, 肖舒, 颜文铠. 一起主变外附 CT 转移性事故分析及思考 [J]. 电工技术. 2022(15).
[8] GB/T 14285-2023. 继电保护和安全自动装置技术规程 [S]. 2023.
[9] 王治宇, 孙祺帆. 继电保护的二次回路故障状态实时监测分析 [J]. 模具制造. 2023(11).
[10] 朱守德. 探析 220kV 变电站及线路继电保护设计和整定计算 [J]. 电力设备管理. 2020(09).
[11] 蔡晟宇. 线路继电保护不停电校验技术探讨 [J]. 光源与照明. 2025(06).
[12] 李焯. 继电保护的二次回路故障状态实时监测分析 [J]. 电工材料. 2023(02).
[13] 赵呈跃. 大型水电站水轮机组状态监测与故障诊断技术研究 [J]. 水上安全. 2025(05).
[14] 赵昕. 水电站水轮发电机组常见故障及处理措施探讨 [J]. 仪器仪表用户. 2024(12).