

电站触发发变组保护故障报警的分析研究

王森

大亚湾核电运营管理有限公司, 广东 深圳 518124

摘 要 : 国内某电站某年度在主控制室触发了 GPA010KA 发电机变压器组保护故障综合报警, 因引发该报警的可能原因多且在一定情况下查找也比较困难, 因此本文从故障原因的分析, 到对故障的查找进行研究, 逐一分析排除确认, 提供查找思路及验证方法, 同时给出相应预案。现对整个分析处理过程进行梳理, 以对今后的运行过程产生指导意见。

关 键 词 : 发变组; 保护故障; 原因分析; 验证方法; 缓解措施

Analysis and Research on Triggering Generator-Transformer Unit Protection Fault Alarm in Power Station

Wang Sen

Daya Bay Nuclear Power Operation and Management Co., LTD. Shenzhen, Guangdong 518124

Abstract : A domestic power station triggered a comprehensive alarm of the protection fault of the GPA010KA generator transformer group in the main control room in a certain year, because there are many possible reasons for the alarm and it is difficult to find it under certain circumstances, so this paper studies the fault cause from the analysis of the fault cause to the fault finding, analyzes and eliminates the confirmation one by one, provides the search ideas and verification methods, and gives the corresponding plan. The entire analysis and processing process is sorted out to provide guidance for the future operation process.

Keywords : transformation group; protection failure; cause analysis; verification method; mitigation measures

引言

随着电力系统的快速发展和复杂性的增加, 确保电网的稳定性和可靠性成为工程师和研究人员的首要任务之一。电站作为电力系统的重要组成部分, 其稳定性直接关系到整个电网的安全运行。在众多影响电站稳定运行的因素中, 发变组的保护尤为重要。因此, 研究和设计高效、可靠的发变组保护方案, 以及快速的故障排除原因及维修处理, 不仅可以提高发电站的运行效率, 还可以确保电网的安全稳定。本论文旨在探讨发变组保护的故障原因分析方法, 期望能够为电站提供一些处理套路^[1]。

一、基本结构

大型发电机组是现代电力系统最重要的组成部分之一, 它造价昂贵, 结构复杂, 一旦故障, 检修期长, 同时造成巨大的经济损失。因此发电机组应该配置完整的主保护和后备保护, 在故障和异常运行工况下, 对机组和电网进行保护。

设置发变组保护系统 (GPA) 的作用是一旦在该系统的主设备提供保护范围内发生电气或机械故障时, 对本系统, 以最短时间消除故障, 或把故障的部分从整个系统中隔离开来, 使损害减至最小, 以确保电站和电力系统的安全运行。

发变组保护系统 (GPA) 保护配置的双重化。由于发变组保护系统的重要性, 为防止保护系统自身发生任何单一故障而不能正确响应系统的故障行为, 出现抖动造成危害, 所以有必要采取

双重设置措施, 以确保发电机 / 变压器组继电保护系统工作的可靠性。发变组保护系统 (GPA) 对每个被保护设备配置两套完全相同的电气量微机保护, 两套保护的电源和控制电源都是由 125V 直流双路电源 A 和电源 B 构成, 两路电源可以切换投入。两套保护的电流互感器 CT 回路和电压互感器 PT 回路完全独立, 两套保护的出口跳闸回路完全独立。然而变压器的非电量保护单套配置^[2-3]。

发变组保护系统 (GPA) 的保护范围: 1) 发电机定子、转子; 2) 主变压器 (简称主变)、降压变压器 A 和降压变压器 B (简称降压变)、励磁变压器 (简称励磁变); 3) 发电机出口封闭母线; 4) 部分主变压器高压侧母线 (主变高压侧出线端到主变差动保护主变高压侧 CT 之间)。

该电站发变组保护系统 (GPA) 采用的是国外某公司生产的

作者简介: 王森 (1985.4-), 男, 汉, 辽宁省盖州市, 大亚湾核电运营管理有限公司, 工程师, 大学本科, 研究方向: 核电运行。

UR 微机型综合保护装置。该系列保护具有通用的用户界面，硬件采用模块化设计，可组合的输入/输出（I/O）结构和快速的网络能力，可在统一模块化平台上通过不同的组件构成不同的保护功能。其在运行中可以实时采集和显示发电机、变压器和系统的电压、电流、功率、系统频率等实时参数，还可以显示不平衡差动电流，发电机中性点的三次谐波量等数值。当发电机或变压器等主设备发生故障时，继电器的液晶屏上及面板信号灯可以显示保护动作。

其主要特点为：（1）高速的采样性能。UR 系列保护的采样速率为每周波 64 点，其故障录波也是同样高的采样速率。（2）快速动作与可靠性。UR 系列采用了快速采样和小矢量算法，动作速度快且可靠。（3）逻辑编程的灵活性。UR 系列保护具有 Flexlogic 灵活的可编程技术，用户可以按照现场需要进行逻辑修改 Flexelement 灵活的用户生成保护元件，用户可以现场方便地创造新的保护动作元件。用户可编程的信号灯，除保护设定的信号灯外，用户还可编程增加 48 个信号灯。（4）可扩展性。UR 系列保护继电器采用模块化结构设计，相关保护均采用统一的硬件模块，不同保护的相同硬件模块可以互相替代。因此，用户只需要备有 1 套模块即可满足不同保护的备件需要。（5）通信及事故记录功能强大。UR 系列保护可以直接连接 10M/100M 以太网，TCP/IP 通信。记录器可储存最新的 1024 个 SOE 事件，不同的 UR 保护均采用统一的软件操作^[4-5]。

二、事件背景

通过上述对该设备的介绍可知，目前该设备的集成和自动化程度已经非常高。然而，在国内某电站前些年，经常出现一些电气相关的报警，因运行相关人员对电气相关知识了解甚少，且报警时间短同时能够获得的信息较少，因此在一定程度上对该故障快速定位及分析带来了一定的挑战。本次以机组上触发的报警作为案例进行分析及研究。

主控制室出现 GPA010KA（报警编码）发电机变压器组（简称发变组）保护故障报警，报警持续 1 分钟后消失，主控制室监视机组有功、无功、电压、电流、频率均无异常。立即召集电站现场专业人员就地检查 GPA005AR 就地控制柜内 C30 非电量保护装置无报警信号，读取装置内部事件记录，发现 C30 非电量保护装置在报警时刻出现两个异常报文：POWER OFF 和 POWER ON 持续时间约 1 分 7 秒，与主控制室报警持续时间基本吻合^[6]。

过了大约两个月左右时间，主控制室再次闪发 GPA010KA，每次持续约 1min。本次值班员调取趋势曲线，发现 GPA302XK（非电气保护故障 1）触发导致报警出现。通过两次能够获取的极少的信息，对该问题进行分析研究^[7]。

三、工作原理

发变组在运行过程中，如果保护装置发生故障，经前文介绍该设备的自动化程度非常高，发变组单元保护装置本身会自动诊

断，系统即可检测保护装置的故障信号，并把故障信号发送到主控制室操作站中。所以当现场的 GPA 控制柜 GPA001-005AR 出现故障时，主控即会出现 GPA010KA。

四、分析验证过程

GPA010KA 报警出现的原因可能有以下几个原因，我们下面逐个分析研究排查。

1. 如果是单纯的保护故障，包括发电机保护故障 1、发电机保护故障 2、主变压器保护故障 1、主变压器保护故障 2、降压变压器 A 保护故障 1、降压变压器 A 保护故障 2、降压变压器 B 保护故障 1、降压变压器 B 保护故障 2、励磁变压器保护故障 1、非电气保护故障 1，其中任何一个故障出现，主控制室工作站中均会触发 GPA010KA，但关键的一点信息就是，除了非电气保护故障 1 外的其他保护故障另外都会有相对应的报警出现。但当时出现的仅有 GPA010KA，所以大范围上基本能够排除其他保护故障^[8]。

2. 非电气保护故障 1 报警，GPA302XK 会相应的动作（见图 1），可以在主控制室调取相应的趋势曲线进行确认，且如果是非电气保护故障所触发的 GPA010KA，则只会单独触发该报警，因此捕捉该信息对于故障原因的分析十分重要。所以初步可以锁定为非电气保护故障所触发的该报警，正如前文所述，然而恰恰是非电量保护仅设置一套保护装置，而且如果故障还会引发一系列动作，且后果也很严重。因此我们要特别重视，同时要清楚都会引发哪些动作：

GPA 系统有以下出口方式：

- 全停 I：断开高压侧 500KV 两个断路器、断开发电机出口断路器、断开两个降压变低压侧分支断路器、灭磁、关闭主汽门、FR/KIC（启动故障录波和报警）
- 全停 II：断开发电机出口断路器、灭磁、关闭主汽门、启动发电机出口断路器失灵保护、FR/KIC
- 程序跳闸：先关闭主汽门，等待逆功率继电器动作后，再断开发电机出口断路器并灭磁、FR/KIC
- 灭磁、关闭主汽门：跳灭磁开关、关闭主汽门、FR/KIC
- 跳 500KV 断路器：断开高压侧 500KV 两个断路器、FR/KIC
- 降压变分支跳闸：跳开降压变低压侧分支断路器、FR/KIC
- 降压变过负荷：闭锁降压变有载调压
- 启动变压器通风、FR/KIC

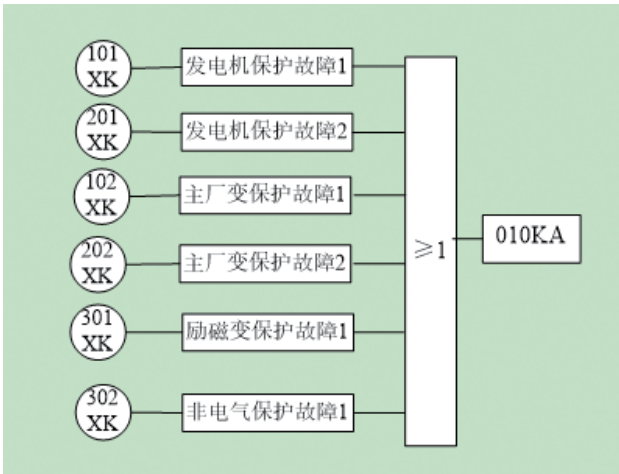
然而一套非电量保护柜配置动作后果也很严重，根据不同的故障类型其后果主要有：全停是指全停 1（不启动失灵）、发信、程序跳闸（发电机转子一点接地故障）、逻辑出口—信号送发电机保护装置（发电机 LBA 直流失压）、跳 500KV 断路器（主冷却剂泵转速低）。

下面对非电气保护故障的几种可能原因进行分析：非电气保护故障主要分为两大部分，即硬件故障和软件故障^[9]。

硬件故障的几种可能：a）失电：就地控制屏黑屏，而现场检查 GPA001-005AR 控制电源及显示均无故障，通过现场检查，

所以可排除此种情况；b）重启：由于重启时间较短，所以当现场进行确认时，电源及控制屏显示很可能会恢复正常，此种可能性较大；c）卡件故障（包括 CPU 板卡故障、输入 / 输出卡故障、电源卡故障），由于出现卡件故障，GPA001-005AR 上的装置故障指示灯正常情况下会跟随点亮，由于现场检查控制面板均正常，所以可排除此种情况。

软件故障的几种可能：a）软件死机：如果发生软件死机，则现场控制屏会出现冻结现象，而当时现场检查无异常，所以排除此原因；b）软件运行异常：此时现场控制屏会出现乱码、屏幕显示故障等明显现象，且装置故障指示灯正常情况下会跟随点亮，由于现场检查控制面板均正常，所以可排除此原因。



> 图 1：发变组保护故障综合报警逻辑简图

五、初步结论

通过分析，可以初步锁定此次触发 GPA010KA 电气报警的原因为 GPA 保护装置重启所致。而导致重启的原因很多，比如说电源模块故障导致的重启、信号干扰导致的重启、非电量保护柜内

电源空开及外部接线故障导致的重启等，此时需要进行控制屏操作锁定具体故障，如本次现场人员检查出现的异常报文 POWER OFF 和 POWER ON（如下图 2），且出现时间与主控制室报警时间基本吻合，同时检查电源空开及外部接线均正常，所以可初步判断为电源模块故障所导致的报警^[10]。

Event Number	Date/Time	Event Description
7495	20:01:58.970311	DL 打开 On
7495	20:01:58.968785	LBA 失压 ≥1 On
7494	20:01:54.056009	POWER ON
7493	20:01:14.056009	POWER OFF
7492	20:01:14.056009	POWER ON
7491	20:00:35.464778	POWER OFF

> 图 2：发变组保护就地机柜异常报文

六、建议行动

如果确实为信号干扰导致的重启，则要求电气、通信专业人员进行干扰信号屏蔽处理，并在处理前 / 处理后进行比对持续跟踪。

如果再次出现 GPA010KA，在周围设置隔离区确认无干扰的情况下，则说明电源模块故障，经电站各专业决策需要更换非电量保护装置 C30 电源模块，更换时则需退出相关保护信号。

七、结语

本文通过结合报警出现的原因分析，结合在现场控制柜中和主控制室能够获取的信息，以及结合电气专业知识，对异常报警的出现原因进行了分析，并编写了风险预案。由于能力有限，其结论和部分方法还需要专业讨论并进一步完善，仅提供方法论参考借鉴。

参考文献

- [1]CPR1000 系统与设备 [M]. 培训中心, 2013.
- [2]CPR1000 核电厂运行教程 [M]. DNMC.2018.
- [3] 电气设备运行 [M]. 中国电力出版社. 1997.
- [4] 电力系统继电保护原理及新技术 [M]. 中国电力出版社. 2017.
- [5] 电力系统继电保护原理 [M]. 中国电力出版社. 2010.
- [6] 新型电力系统继电保护 [M]. 清华大学出版社. 2024.
- [7] 现代电力系统保护 [M]. 清华大学出版社. 2023.
- [8] 姜坤. 3/2 接线方式下短引线与发变组保护在发电厂中的应用与思考 [J]. 电气技术与经济, 2023, (08):292-294.
- [9] 柴勇权, 兰蕾. 发电厂发变组保护原理与调试技术分析 [J]. 科技资讯, 2023, 21(24):79-81.
- [10] 余松; 曹雄; 童志祥; 陈松松. 一起发电机保护装置闭锁的处理与思考 [J]. 水电与新能源, 2022(09): 33-35.