

900MW 压水堆核电站三十年改造后厂用降压变与辅变电源之间切换试验控制过程

潘志勇

大亚湾核电运营管理有限公司, 广东 深圳 518124

摘 要 : 900MW 压水堆核电站仪控系统运行近 30 年, 需要对常规岛 KRG/KCO 系统、核岛 SIPV 控制系统以及其他仪控系统进行改造升级, 升级完后需要验证厂用电源切换的时间和顺序正确。降压变与辅变电源之间的切换试验为三十年大修二号机 DCS 改造后首次进行真实电源切换的试验, 用于验证在手动和故障条件下厂辅变切换功能满足设计要求, 厂用电源切换的时间和顺序正确。由于该试验为首次试验, 执行频度较低, 涉及区域、系统较广, 主控室负责居中协调和风险控制, 因此有必要对试验执行的良好方法进行总结, 以提高试验执行的准确性与高效性。

关 键 词 : 900MW 压水堆核电站仪控系统; 厂用电源; 辅变电源; 切换试验

Switthe test Control Process between the Step-Down Transformer and Auxiliary Transformer Power Supply

Pan Zhiyong

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

Abstract : The instrument and control system of 900MW PWR nuclear power plant has been operating for nearly 30 years, which needs to upgrade the conventional island KRG / KCO system, nuclear island SIPV control system and other instrument and control systems. After the upgrade, it is necessary to verify that the time and order of power source switching are correct. The switching test between the step-down transformer and auxiliary transformer power supply is the first real power switching test after the transformation of DCS of the machine after 30 years of overhaul. It is used to verify that the switching function of the auxiliary transformer meets the design requirements and the time and order of the power source switching are correct. Since the test is the first test, the execution frequency is low, involving areas and a wide system, the main control room is responsible for the center coordination and risk control, so it is necessary to summarize the good method of test execution to improve the accuracy and efficiency of the test execution.

Keywords : 900MW pressurized water reactor nuclear power plant instrument and control system; plant power source; auxiliary transformer power supply; switching test

引言

本文主要介绍 900MW 核电站厂用电的正常运行方式, 厂用电系统为核电站的附属设备提供安全可靠的电源。通过四种供电的类型来完成, 分别为两路外电源与两路内电源进行配合互补使用。同时本文还重点介绍了因 DCS 改造后, 需要进行失电的各种工况进行模拟切换。待机组满足送电后, 需要进行真实的电源切换, 从 500KV 切换至 220KV, 同时确认两路内电源柴油机能正常启动。来满足各种工况下的时间要求和设备的可靠性^[1]。

一、900MW 压水堆核电厂厂用电系统介绍

(一) 900MW 压水堆核电站内部用电系统基本功能

厂用电系统主要功能是在任何工况下 (正常或事故工况下), 为电站的附属设备提供安全可靠的电源, 并为与核安全有关的系统和设备提供应急电源, 以保证核电站的安全运行^[2]。

如果 26kV 母线失去电源或者失去厂用变压器 A, 则由 220 kV 电网经辅助变压器向永久性、应急和共用附属设备供电。如果主电网和辅助电网均失去时, 则由柴油发电机组向应急附属设备供电^[3]。

根据核运行上游文件 FSAR 的要求: 核电站的内部供电系统和电源的设计与设备具有高度的供电可靠性。它必须满足以下基本要求:

作者简介: 潘志勇 (1982.08-), 男, 汉族, 湖北省洪湖市人, 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。

1.首先要有两套相互独立的外部电源作为厂用电的工作电源和协助电源；设计中考虑到两个外部电源同时发生故障的概率。

2.设置两组紧急安全可靠母线，并各自配有一台应急柴油发电机组作为厂内电源的正常情况下由厂用工作电源或厂用辅助电源供电；厂用电系统能承受瞬时过电压并限制母线短路容量，设备能承受1550 kA的对称短路故障电流^[4]。

(二) 厂用电运行方式

正常工况运行：核电站在换料后启动、正常停堆和发电期间由26 kV母线通过降压变压器供电给中压厂用电母线，保证MX岛、NX核岛和BOP外围辅助厂房设备的正常用电。发电机带厂用电8小时基本负荷运行。在发电机变压器组的高压开关跳闸与电网解列后，可使机组运行仅向厂用辅助设备供电，供电时间不限，且与切换到厂用电负荷运行时所需的功率大小无关^[5]。

(三) 厂用电自动切换装置

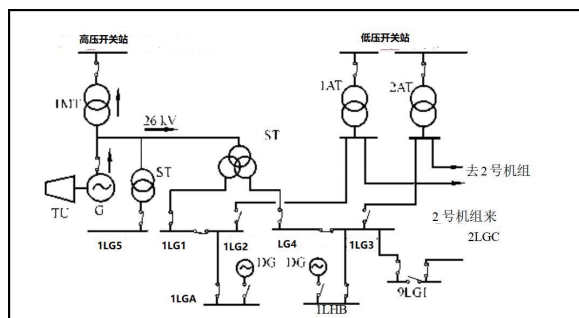
在工作电源失去后，永久配电盘LG2(LG3)将自动慢速切换到由辅助电源供电，自动切换装置的延时要求是保证工作母线段上电动机的反馈电压衰减至一定值，以防止由于电动机反馈电压过高而产生冲击电源，导致切换失败；应急安全配电盘LHA和LHB的母线电压失去后0.9 s将启动相应的柴油发电机组，当母线电压失去的持续时间达7s时则自动跳开电源断路器001JA，延时1.5 s后闭合柴油发电机的电源进线断路器002JA，由柴油机向应急安全母线供电^[6]。

(四) 正常停堆和启动方式

正常停堆和启动时的供电方式：只有两个厂外电源(400 kV/500 kV和220 kV)都正常可用时才允许反应堆启动。这时负荷开关处于断开位置1号机组由400 kV，2号机组由500 kV)线路通过起降压作用的主变压器和降压变压器保证向厂内供电。辅助变压器与220 kV线路是接通的，但与6.6 kV中压母线连接的断路器是断开的。应急盘LHA和LHB由LG2和LG3供电^[7]。

(五) 功率运行

负荷开关闭合，将发电机经主变压器连接到超高压线路。通过负荷开关，发电机向400 kV(或500 kV)线路和降压变压器供电。如图1所示，除负荷开关闭合外，其他所有断路器与上图状态相同。



倒送电时LG2001TL“TS”位置闭锁验证：主控操作LG2001TL置于“TS”位置，确认开关未动作保持倒送电；主控操作LG2001TL置于“TA”位置取消信号。倒送电时LG1001JA合闸闭锁：地试验盒操作LG1001JA合闸，确认LG1001JA无法合闸；恢复：主控操作LG2002TL置于“TS”位置（LG2001JA开关断开），就地操作LG2001JA推入工作位置，就地试验盒操作LG1001JA合闸。主控001TL切换回主变供电功能验证：操作LG2001TL置于“TS”位置，将配电盘LG2切换至厂变供电，确认切换时间符合要求。

KPR厂辅电源手动切换试验：LG2101/102CC选择KPR；操作LG2101TL置于“TA”位置，将配电盘LG2切换至辅变供电，确认切换时间符合要求；操作LG2102TL置于“TA”位置，将LG1切换到辅变供电；操作LG2101TL置于“TS”位置，验证倒送电时闭锁信号；操作LG2101TL置于“TA”位置取消信号；操作LG2102TL置于“TS”位置，就地试验盒操作LG1001JA合闸，操作LG2101TL置于“TS”位置，将配电盘LG2切换至厂变供电，确认切换时间符合要求。

0s通道触发A列切换试验（汽机保护系统GSE动作与失去500kV电源导致电源切换）：GSY001JATP1=0（负荷开关打开）与模拟GEW001JATP1=1（GEW开关断开信号触发）与GSE001SY1=1（汽机跳闸信号），检查配电盘LG2切换至辅变供电，确认切换时间符合要求，取消GEW开关断开信号和汽机跳闸；

2.5s闭锁试验：就地试验盒操作将LG1001JA断开，主控操作LG2001TL置于“TS”位置，检查LG2切换至厂变供电后又切回辅变并且时间满足要求，就地试验盒操作LG1001JA合闸，主控操作LG2001TL置于“TS”位置，将配电盘LG2切换至厂变供电；

5s通道触发A列切换试验（厂用配电盘失压（LG2）导致电源切换）：就地模拟LG2母线失压（LG2001JA分闸后立即取消LG2母线失压模拟），检查LG2切换至辅变供电并核对切换时间；主控操作LG2001TL置于“TS”位置，将配电盘LG2切换至厂变供电；

1.2s通道触发A列切换试验（发电机出口断路器跳闸（GSY001JA）与厂用配电盘失压（LG2）导致电源切换）：模拟GSY001JA分闸+模拟LG2母线失压（LG2001JA分闸后立即取消LG2母线失压模拟），检查LG2切换至辅变供电并核对切换时间；模拟2GSY001JA合闸；主控操作LG2001TL置于“TS”位置，将配电盘LG2切换至厂变供电；

1.2s通道触发A列切换试验（厂用配电盘进线开关跳闸（LG1001JA）与母线失压（LG2）导致电源切换）：与PTLGI001同步执行。解除LHP柴油机闭锁；就地模拟LG1001JA过流保护动作，检查配电盘LG2切换至辅变供电且时间满足；2LHP启动后给出停运信号，要求现场停运；主控操作LG2002TL置于“TA”位置，确认倒送电信号被闭锁；复位LG1001JA过流保护，LG1001JA合闸，操作LG2001TL置于“TS”位置，将配电盘LG2切换至厂变供电并停运柴油机。

（四）试验总结与反思

试验的风险主要是系统失电导致的影响和电路合环影响：分为正常切换导致失电和切换异常时LGB和LHA长时间失电引入的风

险。为正常切换导致失电，试验前需要将运行的重要负荷切换至另一列，将可以停运的负荷尽量停运；为避免切换异常LGB和LHA长时间失电，风险措施中要求故障时将开关切换回上一状态，但是未提可能的LHA切换至柴油机运行时的恢复，该点需要增加预案。合环运行的防御：初始在试验位置必须操作到位进行核对逻辑正常。

该试验需要主控、电气7m、柴油机三个区域的协同配合，所以应提前召开开工前会，详细介绍试验目的，试验过程，风险/对策和经验反馈，澄清疑点，并分发对应规程给各区域主管。在试验期间按照步骤进行三段式沟通，避免出现执行步骤不一致。

执行试验中需要与专业频繁进行信息沟通，而专业执行的是工作包，程序中的步骤没法形成沟通点，需要与其进行三段式沟通，确认其模拟的点，避免走错间隔，模拟完要主控进行核对。

试验期间一定要熟悉每阶段的节点，在电气和现场可以进行操作时提前发出指令，然后用“试验日志”进行计算时间，可以减少时间。

人员分工：机组长监护一名RO进行操作，执行操作的RO主要专注执行的操作正确性，负责机组状态与值内配合人员沟通协调。安排另一名RO负责主控室的报警清理，因倒电期间可能会有之前未分析到的设备跳闸等情况，因此需要一名RO专注清理异常报警，确保倒电后设备恢复正常。机组长除了监护，还需要对接外专业配合协调。同时也要对预案的熟悉，遇到异常情况组织保驾人员分析处理。现场需要两组人员，一组人员进行试验的条件执行，如：电气盘的初态与试验后设备恢复。另一组人员进行配合柴油机的启停操作与柴油机异常相应。一组隔离办人员进行多次的开关操作与KPR盘上的操作。

三、结束语

本次试验在前期准备进行了充分的模拟与验证，在试验的执行阶段一次成功完成，确保的整个DCS改造的成功试验完成。为900WM核电厂验证在手动和故障条件下厂辅变切换功能满足设计要求，厂用电源切换的时间和顺序正确性，为核电站安全运行提供重要可靠的保障。

参考文献

- [1] 张斯帝. 核电厂低压配电系统对于安全级DCS运用的分析[J]. 电气技术与经济 2024, 24(10)102-106.
- [2] 黄素, 文徐思敏, 陈日昱. 核电厂可靠性分析的标准研究[J]. 自动化仪表 2021, 42(08) 106-110.
- [3] 薛萌, 何鹏, 周运来. 核电厂应急柴油发电机安全级电气保护配置研究[J]. 高科技与产业化 2024, 30(09) 72-73.
- [4] 魏巍, 彭钰. 核电厂辅变空载运行期间辅助电源单相断相故障特征分析及应对措施[J]. 核科学与工程 2023, 43(03) 686-694.
- [5] 李金芳, 许春辉. 核电厂优先电源分析[J]. 产业与科技 2013, 12(02) 58-60.
- [6] 胡彦令, 李彦华, 唐启军. 核电厂动力电源切换试验实施顺序探讨[J]. 工业技术创新. 2016, 03(02) 252-254.
- [7] 孔静, 张奇. 压水堆核电厂应对全厂断电的电源设计[J]. 核安全. 2017, 16(01) 75-81.
- [8] 王春生. 大亚湾核电站的电气系统[J]. 核动力工程. 1989(01) 24-29+67.
- [9] 陈海燕, 李小华, 柯国土. 广东大亚湾核电站厂用电力系统可靠性分析[J]. 原子能科学技术. 1997(05) 6.
- [10] 董恩兴. 核电机组失去厂外电源的应急响应[J]. 机电信息. 2020(14) 128-129.