

M310压水堆机组寿期末停运一台循环水泵分析

黄敏

大亚湾核电运营管理有限公司，广东 深圳 518000

摘 要： 本文以岭澳2号机寿期末700MW功率平台停运一台循环水泵为例，对机组降功率前期预测、降功率期间的控制、关键参数变化等进行分析。岭澳2号机组在主控巡盘中发现蒸汽发生器排污系统与凝结水抽取系统的化学取样参数异常上涨。多次取样分析表明，污染源成分符合海水特征，漏量约30ml/h。为防止泄漏扩大，决定将机组降功率至700MW以下并停运一台循环水泵，进行缺陷处理。在降功率过程中，轴向功率偏差预测显示不可避免进入二区，通过慢速降功率和适当控制温度控制棒，成功遏制了偏差恶化。

关 键 词： 压水堆核电站；寿期末；循环水泵

Analysis of a Circulating Water Pump at the End of Life of M310 Pressurized Water Reactor Unit

Huang Min

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., LTD., Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract： In this paper, a circulating water pump is taken as an example in the 700MW power platform of Lingao No. 2 unit at the end of its life, and the prediction, control and change of key parameters are analyzed. The chemical sampling parameters of steam generator blowdown system and condensate extraction system were found abnormal in the main control tray of Lingao Unit 2. Multiple sampling analysis showed that the composition of the pollution source was consistent with the characteristics of seawater, and the leakage was about 30ml/h. In order to prevent the expansion of leakage, it was decided to reduce the power of the unit to below 700MW and shut down a circulating water pump for defect treatment. In the process of power reduction, the axial power deviation prediction shows that it is inevitable to enter the second zone, and the deviation deterioration is successfully contained by slow power reduction and proper control of temperature control rods.

Keywords： PWR nuclear power plant; end-of-life; circulating pump

引言

核电站的安全性和稳定性一直是核能领域的核心问题，特别是在面临潜在设备故障或泄漏事件时，如何迅速识别并有效应对这些问题至关重要。岭澳2号机作为一座典型的压水堆核电站，其运行过程中某些关键参数的异常变化可能预示着系统内部存在潜在的隐患。在某次巡盘过程中，蒸汽发生器排污系统与凝结水抽取系统的化学取样参数异常上涨，尤其是钠含量和阳电导出现了不同程度的升高，这引发了对凝结水抽取系统中可能存在海水微量泄漏的怀疑。

由于核电站的正常运行依赖于多种复杂系统的协调配合，任何单一系统的异常都可能对整体性能产生影响。此次发现的泄漏问题，虽然暂时未对机组运行造成重大影响，但若不及时处理，随着泄漏的扩大，可能会导致更为严重的后果，如影响蒸汽发生器的传热管寿命，甚至引发机组的限制运行或后撤风险。因此，在发现问题后，迅速采取措施降低功率并停运一台循环水泵进行专业的查漏和堵漏处理显得尤为重要^[1]。

本文将通过分析岭澳2号机在处理该事件过程中的各项操作参数和实际运行表现，为未来类似情况的应对提供参考。特别是通过对轴向功率偏差的预测及实际控制效果，以及停运循环水泵后机组相关参数的变化进行深入探讨，为机组的安全稳定运行积累宝贵经验。

一、背景

岭澳2号机主控巡盘发现蒸汽发生器排污系统与凝结水抽取系统的化学取样参数，包括钠含量、阳电导等分别出现不同程度的

异常上涨。化学取样人员确认相关仪表无异常，投运凝结水净化处理系统后，跟踪相关化学参数缓慢下降。后续进行了多次取样分析，污染源成分符合海水特征，经过综合判断，凝结水抽取系统存在微量海水泄漏的可能性比较高，且经多次取样化验基本确

作者简介：黄敏（1991.10-），男，汉族，四川省自贡市，大亚湾核电运营管理有限公司，工程师，本科，核反应堆运行。

定泄漏点位于冷凝器C相后端,按照海水泄漏计算,海水漏量约30ml/h^[2]。

若泄漏扩大,钠含量继续升高,机组有限制运行及后撤风险,更严重的是影响蒸汽发生器传热管寿命。因此决定将岭澳2号机降功率至700MW以下停运对应的一台循环水泵,专业进行氦气查漏及堵漏处理^[3]。

鉴于岭澳2号机极少遇到寿期末降功率至700MW停运一台循环水泵的工况,因此本文,将前期分析预测以及停运循环水泵之后机组参数变化进行了简要分析,为今后的机组控制提供一定的参考。

在此,先对本文所涉及的专有名词做个简单的解释。

蒸汽发生器排污系统:用于维持蒸汽发生器二回路侧水质的重要系统,它通过持续排放蒸汽发生器的污水,防止杂质和腐蚀产物的沉积,从而延长蒸汽发生器传热管的寿命^[4]。

凝结水抽取系统:该系统将汽轮发电机排放的乏汽冷凝后的水,储存在凝汽器内部,再由凝结水泵输送至低压加热器和除氧器。

循环水泵:将海水输送至凝汽器,将汽轮发电机的排放的乏汽冷凝成水,带走余热,与抽真空系统一起,维持汽轮发电机良好的运行条件^[5]。

轴向功率偏差:表征核反应堆堆芯上部功率与下部功率分布的不均匀性,通常以上部功率与下部功率的差值比上堆芯额定功率得到。在压水堆核电站,控制轴向功率偏差非常重要,它对堆芯的热应力和机械应力等都会有所影响^[6]。

温度控制棒:压水堆核反应堆中用于调节反应堆堆芯温度的控制棒,通过吸收中子来控制反应堆功率的输出,从而控制反应堆堆芯的温度^[7]。

二区:反应堆运行过程中,轴向功率偏差的一个特定运行区域,核反应堆应尽可能减少在该区域运行的时间。

氦振荡:核反应堆中的一种常见运行现象,由于氦浓度的变化导致反应堆功率产生的周期性变化^[8]。

二、过程

(一) 轴向功率偏差预测以及机组实际轴向功率偏差走势

寿期末反应堆堆芯上部相对功率较大,功率变化时氦振荡也更大,且硼浓度低,慢化剂温度系数变得很负,给轴向功率偏差控制带来困难,于是降功率之前对降功率轴向功率偏差预测模拟计算,如图1所示^[9]。

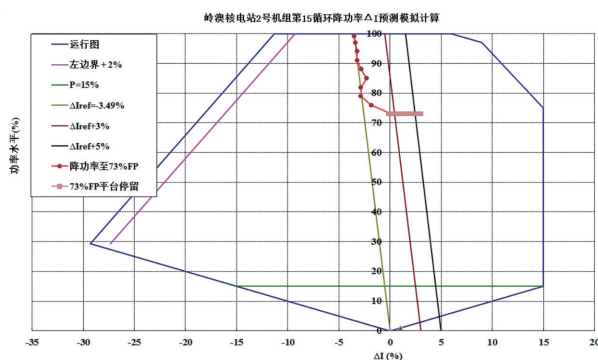


图1: 0.5MW/MIN硼化降功率至700MW的轴向功率偏差预测

根据计算结果,轴向功率偏差将不可避免进入二区。于是,如何减小进入二区的深度,减弱轴向功率偏差震荡幅度,成为控制的关键点。经过分析和讨论,以尽量慢的速度降功率,降功率前将温度控制棒置于较高的位置以及适当的温度控制棒下插时机和下插步数可以在一定程度上遏制轴向功率偏差的恶化。

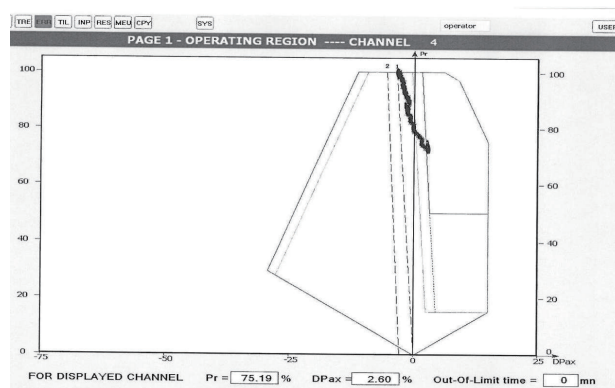


图2: 机组实际轴向功率偏差走势

如图2所示,轴向功率偏差几乎刚好处于右限线上,并未进入二区更深。

核功率控制:大部分时间以0.5MW/min速率降功率,后期(800MW以下)在轴向功率偏差可控范围内适当加大速率至0.8MW/min。

温度控制棒控制:机组当前燃耗下700MW功率平台温度控制棒低限为185步,为防止违反技术规范对温度控制棒的要求,且留有一定裕度,温度控制棒最低按187/187步控制。温度控制棒实际上到了189/189步,下插约30步,分12次下插,每次下插约2步半,根据温度控制棒在不同棒位价值不同,每次下插幅度有细微差别。

轴向功率偏差控制:轴向功率偏差在核功率为80%Pn时触碰右预限线,74%Pn左右触碰右限线,停泵之后轴向功率偏差向右趋势可控。

一回路冷热:为遏制轴向功率偏差向右的趋势,降功率期间一回路控制在偏热0.8-1℃。

(二) 停运一台循环水泵之后机组相关参数变化

根据前期模拟机演练结果,700MW功率平台停运一台循环水泵之后,功率会随着汽轮机效率的变化下滑约40-50MW,约5min后保持稳定;真空宽量程在停运循环水泵之后上涨40-60mbar,功率平台越低,真空上涨幅度越小;真空窄量程将上涨至满量程;4-5min后真空将保持稳定。机组实际参数变化与模拟机模拟结果近似,有略微差别:

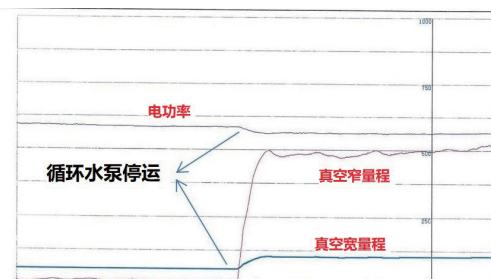


图3: 循环水泵停运后实际电功率以及真空变化趋势

如图3所示,循环水泵停运后,由于汽轮机效率下降,发电机电功率由698MW下滑至673MW,下滑幅度约25MW;由于冷凝器冷却效果变差,真空从初始的52mbar上涨至100mbar,上涨幅度约为48mbar。以上参数约在3min后不再上涨,保持稳定。

停运一台循环水泵后海水进口温度保持不变,出口温度从28℃上涨至36℃,上涨幅度约8℃。

一台循环水泵停运后,该列虹吸破坏阀开启,进入空气。由于冷凝器钛管存在一定泄漏,当钛管内海水下降,空气可以通过泄漏处的钛管缝隙,被吸入冷凝器内部,造成氧含量迅速上涨,启动第二台真空泵之后,氧含量上涨趋势得到遏制;凝结水钠含量,由于该列循环水泵的停运,使得钛管海水泄漏迅速降低,钠含量也随之降低^[10]。

三、结语

本文通过对岭澳2号机组在寿期末700MW功率平台停运一

台循环水泵的案例分析,详细探讨了机组降功率前期预测、降功率期间的控制以及关键参数变化。蒸汽发生器排污系统与凝结水抽取系统的化学取样参数异常上涨,主要源于冷凝器C相后端的微量海水泄漏。为防止泄漏扩大,决定将机组降功率至700MW以下并停运一台循环水泵。通过慢速降功率和适当控制温度控制棒,成功遏制了轴向功率偏差的恶化。停运循环水泵后,发电机电功率下降约25MW,真空上涨约48mbar,海水出口温度上涨约8℃,凝结水氧含量和钠含量变化趋势得到控制。本文的分析和改进措施为今后类似工况下的机组控制提供了宝贵的参考,未来可以继续关注不同工况条件下的系统控制优化,以确保机组的最佳性能和最安全工况。

参考文献

- [1] 李建国, 黄志. 海水特征对核电厂冷凝器泄漏影响的分析 [J]. 水处理技术, 2019, 45(9): 112-117.
- [2] 王建军. 电厂泄漏检测技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2019.
- [3] 李强, 杨帆. 核电厂氦气查漏技术应用研究 [J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(12): 22-28.
- [4] Cochran, T., et al. The Fundamentals of Steam Generation and Heat Exchangers. New York: McGraw-Hill, 2018.
- [5] 陈伟, 张明. 循环水泵运行对冷凝器性能的影响分析 [J]. 能源工程, 2018, 29(5): 35-40.
- [6] 周鹏, 王涛. 压水堆核电站轴向功率偏差控制策略研究 [J]. 核技术, 2020, 43(8): 15-20.
- [7] 李华, 陈明. 反应堆物理与控制 [M]. 上海: 科学出版社, 2018.
- [8] Chao, S. and Wang, H. Reactor Physics and Control. 2nd ed., Beijing: Science Press, 2019.
- [9] 张强, 刘彬. 压水堆核反应堆氦振荡的理论与实践 [J]. 核科学与工程, 2018, 38(6): 58-65.
- [10] 刘刚, 赵勇. 热电厂效率与运行优化 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2016.