

运行隔离在大修主机检修中安排研究及优化实践

胡诗毅

大亚湾核电运营管理有限公司运行二部, 广东 深圳 518124

摘 要： 900MW 压水堆核电站运行多年经验，每次大修都要检修汽轮机，以确保重新启动后不会存在缺陷隐患。而汽机的检修项目种类繁多，既有运行工作也有维修工作，经过多年的经验，目前已经形成一整套较完整成熟的模式。通过总体和系统整理，对整个过程进行了汇总和分类，并作出优化尝试，将相关经验反馈提供给相关专业参考借鉴，以保证机组安全、稳定和经济的进行检修，也为核电集约化和标准化提供了可借鉴的模式。

关 键 词： 运行隔离；主机检修；优化实践

The Schedules Research and Optimization Practices of the Operational Isolation in Overhaul Host Maintenance

Hu Shiyi

Operation Branch 2, Daya Bay Nuclear Power Operation and Management Co.Ltd. Shenzhen, Guangdong 518124

Abstract： The 900MW PWR nuclear power plant has been operating for many years. Each overhaul requires overhaul of the steam turbine to ensure there are no hidden defects after the restart. However, there are many types of maintenance projects for steam turbines. There are both operational and maintenance work. After years of experience, a complete set of relatively complete and mature models has been formed. Overall and systematic understanding of this, and summarize and classify the entire process, And made an optimization attempt to provide relevant experience and feedback to the reference professional to ensure the unit safe, stable and economical overhaul. It also provides reference for nuclear power intensive and standardization of model.

Keywords： the operational isolation; overhaul host maintenance; optimization practices

一、背景

每次大修对于常规岛来说，主机上的工作（包括汽轮机、发电机与励磁机）总是常规岛大修的关键路径，而常规岛工作如有延误又往往会反过来影响核岛的启动。发展新质生产力推动高质量发展是今年以来我国经济社会的主基调。加快形成电力建设新质生产力是建设新型电力系统、构建新型能源体系的现实要求^[1]，对于主机上的工作，运行人员面对的最大风险在于设备损坏及跑油，既要避免这些风险，又要保证大修工期的最优化。

在大修过程中，对大修主机检修与相对应主隔离安排研究及优化实践的介绍。并结合大修中对主机前期的出票窗口，进行了优化试验工作，对需要优化的项目进行了跟踪记录，并根据优化效果，编制了主机大修的取票逻辑框图。

二、主机全面解体工作阶段的介绍

第一阶段：盘车停止到实施 ADT GGR 00 过程

在这一过程检修的主要工作是：拆除 GPV001KO 化装板（PW 票：内部照明隔离拆除）和 GEX001GA 隔音罩（PI 票）、以及搭设主机检修隔离区（PI 票），为后面开始的轴承解体、汽缸检修、发电机和励磁机检修做好前期准备，但当有低压缸开缸

工作时还需要拆除 GPV***KO 导汽管（需确认 ADT VVP 00 主隔离已实施）的 PW 隔离票（提前安排可以节省 1 天时间），在冷凝器真空破坏后，可以允许部分松开 GPV***KO 导汽管螺栓，防止松螺栓过程中影响冷凝器真空^[2]。需等真空破坏，ADT CEX 00 主隔离实施，盘车停运后，才允许发出拆除 GPV***KO 的工作许可证，最大风险是拆除导汽管时异物落入汽缸内，做法是只拆导汽管不拆滤网。在 GRE/GSE***VV 阀门试验结束后，需要安装 TSD GGR 01 以配合运行进行管线排油，以防在开轴承座时跑油。

第二阶段：部分解体及数据测量阶段（ADT GGR 00 和 GHE 00/GEX 01/GRV00 已实施）

一旦盘车停运后，我们可以进行以下的工作^[3]：

发电机排氢、CO₂ 置换氢气，空气置换 CO₂（若盘车在运行，发电机内的风扇会导致氢气和二氧化碳搅浑）。

SRI 系统停运隔离。

发电机的隔离，在发电机侧接临时地线，否则会导致人员触电。

所以，在此窗口下我们可以实施的隔离有：ADT SRI 00、ADT GRV 00、ADT GEX 00/01、ADT GGR 00、ADT GHE 00^[4]。这里需要注意的是：程序里要求利用 9SKH 的油泵将 GGR 润滑油进油管线、热交换器及滤网的油（维修需要安装 TSD GGR

01) 以及 GGR002BA 的油传到 SKH502BA^[5], 但经过实践反馈, 这是不必要的, 只需要将 TSD GGR 01 的阀门开启, 将轴承座内的油靠重力通过软管排回 GGR 主油箱即可。

上述主隔离实施后, 维修部门就可以进行拆除励磁机 SRI 冷却水管, 吊励磁机, 为发电机抽转子做准备; 发电机上的电气活动也可以开展。检修的主要工作是: 拆除 5 个轴承座及 #10-#12 轴承的仪表探头、拆吊 5 个轴承座上盖及 #1-#12 轴承上半 (下半不能动), 发电机两侧密封装置、汽轮发电机组对轮螺栓、汽缸上半 (转子不能吊出)、测量汽轮发电机组解体所需要的相应数据。这个过程需要以下许可证: GPV***KO 轴承检修 PX 票 (票中加入 GGR*25PO 一台顶轴油泵占用操作权)、这张票直接影响主机各项检修工作能否正常开始, GPV***KO 汽缸检修 PW 票, GEX001GE 发电机检修 PW 票, GEX001GA 励磁机检修 PW 票 (如与电气工作冲突、取票后需先做好电气接线断开措施)、GEX001GE 发电机吹扫及绝缘测量 (PR)、GGR001ET 盘车检修 PW 票, 以上许可证需同时给出。最大风险就是跑油, 如需吊出转子需与运行联系关闭相对应的顶轴油阀门, 同时在每次启动顶轴油泵前需要通知主控。

第三阶段: 汽轮机主机全面解体过程

当第二阶段工作结束后, 持 GPV***KO 轴承检修 PX 票工作负责人需将该许可证送交运行修改、取消 GGR*25PO 一台顶轴油泵操作权 (这一阶段不需要启动顶轴油泵)。修改完后主机将进入全面解体阶段, 运行可以开始实施 ADT GGR 01。这时主机检修工作要临时中止以下许可证: GEX001GE 发电机检修 PW 票、GEX001GA 励磁机检修 PW 票、GEX001GE 发电机吹扫及绝缘测量 (PR)、GPV***KO 轴承检修 PX 票等涉及发电机、励磁机检修工作。最大风险就是异物落入汽轮机^[6]汽缸、油管和电气试验中触电风险, 安全措施是电气试验时中止相关工作票和做好安全措施。

第四阶段: 调整和部分组装过程

当主机解体、清理、检查及数据汇总工作结束后, 运行需解除 ADT GGR 01 对 GGR001BA 进油同时将 PX 票上顶轴油泵操作权恢复, 以便进行调整测量工作。当所有数据都符合标准后, 主机将进入部分组装过程 (#1-#12 轴承上半、密封瓦不组装)。这一过程中最大风险与第二阶段相同 (跑油), 主要措施也相同。

第五阶段: 试验及全部组装完成过程

主要工作顺序为: 首先进行 GGR 系统及各轴承冲洗^[7] (在 #1-#9 轴承下半的水平接合面油口安装 “U” 型管将油引入轴承座内、#10 轴承用塑料布封闭、#11 和 #12 轴承室盖上盖、推力轴承不装但进油口加装临时闷头以防跑油), 这需要一张 PT 票 (另外运行需配合启停 GGR004PO 油泵 1 小时), 然后进行 GHE 系统及密封瓦室冲洗, 当 GGR、GHE 系统冲洗工作结束后开始回装 #1-#9、#11、#12 轴承上半及推力轴承, 但 #10 轴承上半及小端盖不能回装 (气密试验时需检查有无漏气)。

最后当以上各项工作完成后取发电机整体气密性试验^[8]票开始进行试验。

气密试验结束后回装 #10 轴承上半及小端盖及励磁机隔音

罩及内部消防感应探头, 最后交回 GGR***KO、GEX001GE 及 GEX001GA 工作票。

第六阶段: 气体置换及投盘车

当主机轴系上的工作结束还票后, 需考虑投运盘车装置。投盘车前必须核对发电机出口临时接地线已拆除, 润滑油泵及顶轴油泵保持运行。在进行发电机电体置换前, 必须将盘车停运。在发电机机壳压力上升过程中, 必须确保顶轴油泵运行, 防止在升压时大轴的轴串引起干摩擦。当发电机机壳压力达到 3bar 时, 实施下列行动:

GST 充水排气, 并启动 GST 水泵, 投运 GST 电加热器;
对 GRH 热交换器进行充水排气并投运;
投运盘车。

在运行开始气体置换前需将 GGR113/213FI 滤芯更换 (检修过程中一直使用的是旧滤芯), 当滤芯更换完成后运行可以开始进行气体置换, 投盘车前由常规岛经理组织相关检修部门对投盘车条件进行确认, 检修人员在现场待命, 启动盘车前需再次测量盘车力矩。这一阶段主要注意不要使蒸汽进入汽缸否则会造成转子热态弯曲。

三、试验验证情况

目前共安排了三个试验项目, 分别是: 在盘车状态安装 TSD GGR03 (低润滑油保护)、在盘车状态安装 TSD GGR01 (管线排油)、解体对轮同时发电机制换氢气。

(一) 在盘车状态实施 TSD GGR03/TSD GGR01

在盘车状态下实施 TSD GGR03 后, 可以使 GRE/GSE 的相关试验工作及及时开展, 使接口时间变为负接口。

此外, 在盘车状态安装 TSD GGR01 后能保证管线排油工作及及时进行, 使接口时间变为负接口, 也没有任何风险。

(二) 发电机置换气体同时解体对轮

以往大修, 一般在机组解列后 40 - 50 小时发电机制换气体^[9]完成, 轴系及汽缸的检修工作票才具备取票条件, 如果电动盘车停运后, 就发出拆卸轴承箱上盖、轴承上半及对轮解体的工作票, 主机的检修工作可以提前 25 - 35 小时, 但是此时对轮解体工作就会与发电机制换气体工作同时进行, 因此会担心解体对轮时盘动转子将延长气体置换时间, 在大修中特安排了发电机制换氢气同时解体 LP3/GEN 对轮螺栓。查询日志, 大修发电机制换氢气的时间为 19.5 小时左右, 与之前大修发电机制换氢气的 (18.5 小时) 相当, 因此解体对轮不会延长发电机制换气体的时间。

在大修中还验证了在顶轴油泵运行及 GGR 管线未排油的情况下拆卸轴承箱上盖及轴承上半没有跑油的风险。

四、跟踪项目情况

根据 26 天大修工期的需要, 对取还票的时间及窗口、系统状态转化的时间及窗口等都提出了明确的时间要求, 在大修中虽然

未对上述所有项目进行优化验证,但进行了跟踪记录,通过分析跟踪记录后表明,大部分项目所做的时间规定是合理的。

五、后续需要解决或跟踪的内容

（一）主机轴系工作许可票及工作指令修改

将轴系工作分成两张票,电动盘车停运后,取出拆卸轴承箱上盖及轴承上半、对轮解体和低压外缸解体的许可票,而发电机气体置换完成后取出顶轴油泵的操作权票、轴承下半及低压内缸拆卸的许可票。

（二）短大修时 GRE/GSE/GFR 的检修工作可能成为关键路径项目

MRM/MIC 都有检修工作,两部门的工作有交叉、需要相互配合,检修工作需要 PW 票和 PT 票,这之中不仅需要运行的配合,系统的状态也需要改变,因此交叉、配合环节多,容易延误时间。

（三）高压缸冷却至拆保温的时间比预计时间长

一般要求高压缸温度≤120℃时拆高压缸保温,跟踪2号机大修需要30小时,1号机大修需要38小时,26天工期计划时间为16小时,因此相差比较大。这一冷却时间与机组停机时3000rpm空转的时间有一定关系,一般要求停留30min。

（四）MRM 与 MEE 的工艺顺序的优化组合

MEE 在进行一些试验和检修工作时,发电机相关机械工作就

不能进行,因此 MRM 与 MEE 的检修工艺顺序有必要进行讨论优化,特别是短大修抽发电机转子的情况。

在大修测发电机定子线棒绝缘工作耗时也比较长,使发电机气密试验往后推,在今后大修中也需要关注。

（五）发电机检修 MRM 与 MEE 的工艺顺序的优化组合

MEE 在进行一些试验和检修工作时,发电机相关机械工作就不能进行,因此 MRM 与 MEE 的检修工艺顺序有必要进行讨论优化,特别是短大修抽发电机转子的情况。

在大修测发电机定子线棒绝缘工作耗时也比较长,使发电机气密试验往后推,在今后大修中也需要关注。

六、总结

由于大修期间工作的复杂性和特殊性,大修期间需要对部分主隔离进行修改后出票,出票前,这些主隔离怎么修改,工作结束后如何恢复主隔离的隔离措施,这些需要提前计划好,统一做法。因此通过不断加深对主机工作的理解,在保证系统和人员安全的前提下,提前与专业进行沟通确认,在大修中进行优化实践,希望能得到大修工期的最优化,以实践路径推进核电高质量发展^[10]。

参考文献

[1] 龚国军, 打造电建行业新质生产力,《中国电力企业管理》,2024 年 09 期。
[2] 田小慧 刘强 代元锋 郭辉, 汽轮机真空波动原因分析及处置,《四川化工》,2024 年 04 期。
[3] 祁金荣, 900MW 压水堆核电站运行教程(353)。
[4] 郑小国, 大修期间常规岛主隔离设置和优化,《科技视界》,2016 年 06 期。
[5] 濮继龙, 大亚湾核电运行教程, 北京: 原子能出版社。
[6] 杨林. 汽轮机调节汽阀油动机故障处理 [J]. 化肥设计, 2019, 57(2): 59-61.
[7] 杜平 张振 李志杰, 发电机转子顶起高度计算,《燃气轮机技术》,2024 年 02 期。
[8] 张兆亚 来国庆, 300MW 机组发电机气密性试验不合格分析处理,《2023 年电力行业技术监督工作交流会暨专业技术论坛论文集(下册)》。
[9] 赵国钦, 氢冷发电机密封瓦供油方式对发电机安全性影响分析,《东北电力技术》,2023 年 09 期。
[10] 屈凡玉, 李言瑞, 杨彬. 积极安全有序发展核电力“双碳”目标顺利实现 [J]. 能源, 2022, (12): 38-43.