

压水堆机组长时间停运状态的选择与保养

方威

大亚湾核电运营管理有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i1.11439

[摘要] 随着电力市场改革的深化和核电机组比例的逐步增加,压水堆机组在电网调峰和长期停运中面临运行模式选择困难、设备保养标准模糊等复杂问题。本文基于核电机组长期停运的实际需求,探讨了不同停运模式的优缺点及选择依据,提出了放射性化学的要求和设备保养的具体策略,这对提升核安全、设备可靠性和机组快速启动能力具有重要意义。

[关键词] 核电运行; 长时间停运; 机组停运模式选择; 设备保养

中图分类号: TL48 **文献标识码:** A

Shutdown modes selection and maintenance of the long-time shutdown state for the pressurized water reactor unit

Wei Fang

Daya Bay Nuclear Power Operations Management Co., LTD.

[Abstract] As the power market reform deepens and the proportion of nuclear power units increases, the pressurized water reactor units face several challenges during grid peak regulation and long-term shutdowns. These challenges include difficulties in selecting the appropriate operation mode, unclear equipment maintenance standards. This paper analyzes the advantages and disadvantages of different shutdown modes and provides guidelines for selecting the most suitable mode based on actual needs. It also outlines the requirements for radioactive chemistry and strategies for equipment maintenance during the shutdown period. These approaches are crucial for enhancing nuclear safety, improving equipment reliability, and ensuring the rapid startup of nuclear units.

[Key words] nuclear power operation; long-time shutdown; selection of unit shutdown mode; equipment maintenance

引言

随着电力市场改革^[1]的快速推进及国内核电机组占比的逐步提升,核电机组可能面临越来越多的配合电网调峰,也会因节假日电力需求突降而面临短期或长期停备^[2]。核电机组长期以基荷运行^[3],机组长时间停用情况下电厂系统的配置和要求不同,会出现停运模式选择困难、设备保养标准模糊等问题,本文旨在对相应要点进行分析,总结经验,为相关研究和实践提供参考和借鉴。

1 机组长时间停运模式的选择

1.1 可选择模式及优缺点

1.1.1 RP模式

(a) RP模式, $2\%P_n < P < 10\%P_n$, GCT-C冷却一回路, ARE供水。该模式可实现快速上行;维持了二回路正常供水,无需额外消耗SER水;技术规范要求、机组状态与正常运行相同。但该模式下GCT-C位置反馈器故障率高,可能导致瞬态;不能执行RPA/B010

试验;盘车长期运行对发电机绕组有不利影响;在无收益情况下消耗核燃料和产生废物。

(b) RP模式, $P < 2\%P_n$, GCT-C冷却一回路, ASG或ARE供水。该模式可实现快速上行;维持了二回路真空正常;技术规范要求、机组状态与正常运行基本相同。该模式下可执行RPA/B010试验;其他缺点与a)相同。

(c) RP模式, $P < 2\%P_n$, GCT-A冷却一回路, ASG供水或ARE供水。该模式GCT-A三组阀门冷却一回路,故障几率相对较小;技术规范要求同正常运行;但启动时增加了暖管、除氧等操作;消耗SER水量较大;GCT-a阀门长期处于调节状态,可能冲蚀损坏;存在VVP的两高一低安注风险;也存在无收益情况下消耗核燃料和产生废物的问题。

1.1.2 NS/SG模式

当有需要或预期需要下行维修的情况时,会考虑较低运行模式;机组停运时间大于10天,需要破坏真空,以实现盘车间断

运行;在满足上述条件的情况下原则上应选取设备接近满功率的运行方式。

(a)NS/SG模式,GCT-A冷却一回路,一回路压力154bar.g、温度291.4℃。该模式相对安全;可安排RX厂房消缺;不额外消耗核燃料和产生废物。但需持续对ASG001BA进行补水,消耗SER水量较大;GCT-a阀门长期处于调节状态,可能冲蚀损坏;也不能快速启动。

(b)NS/SG模式,GCT-A冷却一回路;RRA连接条件。该模式除(a)的优点外,一回路蓄存能量相对较少;可实现快速过渡至RRA模式。但该模式并不是常选的长期停运模式;且机组上下行将产生交变热应力;变工况过程中可能引入额外风险。

1.1.3 NS/RRA模式

该模式一般应检修条件或长时间停运的需求选择,需要结合实际情况讨论分析。一般情况不选择较高温度的RRA模式,防止应力引起泄漏;无特殊情况时优先选择主泵停运的状态,短时间停留检修例外(停留时间与上下行时间比较);下行过程是否氧化主要取决于检修工作,若可能向开口过渡时需要氧化,源项小组分析后给出建议。

(a)NS/RRA模式,23bar.g≤一回路压力≤29bar.g,90℃及以上,主泵运行。该模式RCV013VP调节性能好;技术规范对电源要求相对少;与RP及NS/SG模式相比,耗能少;有利于一回路净化循环;一回路补给灵活;同时可通过SG对堆芯冷却。但该模式处于PT图较窄区域,一回路存在超压风险,机组监控需求大;压力波动时需要紧急停运主泵;主泵运行耗能,经济性较差;一回路有腐蚀产物转移风险;RRA冷却三通管存在温差容易产生交变应力;同时部分定期试验不能执行。

(b)NS/RRA模式,一回路压力≤25bar,60℃以下,主泵停运。该模式相比(a)用RRA泵实现一回路搅混,压力波动无需停主泵;无主泵运行的消耗,经济性好。但需等待一回路放化指标稳定后才能停主泵;引入启、停主泵等重大操作。

1.1.4 MCS模式

如机组存在缺陷,根据缺陷的维修条件,仅能选择维修条件对应的模式及以下。对于一回路焊接等工作需要开口时,原则上需要进行氧化。即使之前RRA模式未安排氧化,若进入MCS模式需要开口则需重新安排氧化,在氧化前需吹扫,若吹扫无效或需采用化学除氢则需汇报PNSC决策。

(a)MCS模式不开口。该模式不能完成的定期试验较RRA模式少;无主泵运行的消耗;一回路压力低;可保证对一回路持续净化。但RCV013VP调节差;上充泵运行存在较大超压风险;RCV002BA加压供封轴封期间需要间断开关RCV366VP或开启RCV030VP至TEP平衡轴封,长期以此方式运行RCV366VP可靠性及PTR001BA水装量需关注,同时对监视要求高。

(b)MCS模式小开口。该模式除(a)的优点外,一回路处于常压,无压力控制风险。但需控制一回路液位防止溢流;一回路水装量少;RRA泵故障时建立主泵强迫循环操作需进入RX厂房;必须进行氧化停堆。

(c)MCS模式大开口。该模式优点与(b)相同,但减少了乏池的冷却备用。

1.2最佳模式的选择

最佳模式的选择主要考虑如下几方面:

(1)多机组的选择存在较大的不确定性,需综合多机组运行、检修、试验等需求进行评估,是否要求具备短时间达到冲转并网的条件。(2)机组预期停运时间,考虑在停运期间运行设备的可靠性等因素。(3)机组存在缺陷情况,如是否需进入RX厂房、技术规范要求(如辅变检修)等。(4)保养需求及一回路氧化需要。(5)从技术规范角度分析,NS/SG模式相对安全,但此模式需要对ASG001BA进行持续补水,在GCT-a冷却一回路期间需关注:长时间运行对阀门冲刷影响以及耗水量等因素。(6)从概率论安全分析角度,NS/SG、NS/RRA和小开口MCS模式的基准安全水平处于同一个量级。根据电厂大修经验反馈数据统计,机组越靠近RP模式,产生的事件越少。但保持较低的一回路温度和压力,减少一回路存积的能量,可以有效减少一回路破口发生的几率并降低其后果。(7)考虑机组在失去堆芯冷却的情况下能够快速返回到可由蒸汽发生器冷却的状态,NS/RRA或MCS模式(一回路封闭)比较合适,同时还能够保证对一回路的持续净化。(8)一回路压力≤25bar的NS/RRA(主泵停运)模式:一回路参数超P-T图风险小,失水可能性小,且机组长期停运,一回路工作少,由人因引入的失水风险也可接受。主泵停运情况下,RRA泵在设计上可以实现一回路搅混,考虑主泵运行条件苛刻,且在其运行情况下一回路参数超P-T图风险增大。(9)考虑90℃以上的NS-RRA模式,RRA热交换器及其旁路管线交汇处热应力影响,有3000小时的运行限制,一般不作为长期运行模式。

2 一回路放射性化学管理

机组停运及启动过程放射性管理依据源项小组制定的总体源项控制方案执行,机组长期停运是否采取氧化下行总体原则如下:

(1)如果一回路开口,从源项及安全角度考虑必须氧化,严格按照化学技术规范执行氧化停堆。(2)如果一回路不开口,需结合具体检修工作,依据源项小组制定的总体方案执行;同时考虑到RRA连接情况下一回路相关设备可能故障,而导致一回路会有开口工作,机组后撤过程中应优先考虑氧化操作。

2.1选择无氧化停堆,机组下行期间采取以下手段控制源项

(1)在一回路170℃左右,保持NG/SG模式,RRA不连接,控制一回路溶解氢在10—15ml/kg,一回路不添加氢氧化锂,投运TEP006DE,保持最大下泄流量对一回路净化(条件允许时尽量维持一周时间)。(2)稳压器灭汽腔之后,控制一回路溶解氢在10—15ml/kg。(3)如果机组状态需从一回路不开口进入开口模式,必需执行氧化,一回路氧化前提条件:一回路温度80℃,一回路溶解氢≤3ml/kg(若一回路不满足氧化条件可考虑采用化学除氢方案,需汇报PNSC),三台主泵运行,一回路净化系统保持最大流量长时间运行。(4)无氧化停堆期间,需要持续关注REA01/02BA,RCP/RRA回路中的氧含量;辐射防护需要对RCP/RRA/RCV

和控制区内选择代表性的点进行监测,特别是容易造成放射性物质沉积的地方。(5)采用无氧化停堆存在一定的二次污染风险:放化技术规范要求机组再启动时Co-58小于7000MBq/t, γ T小于14000MBq/t,所以需要做好再次净化准备,否则不能上行。

3 二回路设备保养

(1)蒸汽发生器首选湿保养,如果机组停运时间大于1个月,考虑选择干保养。(2)对于二回路系统的保养方式,需结合冬夏季模式、加药难度以及是否便于机组快速启动上行等方面综合评估确定。原则上机组停运时间在1周内,二回路可保持有真空的运行状态,机组停运时间小于1个月则采取湿保养并保持循环,停运时间超过1个月采取干保养,但当机组停运小于1个月而二回路热力设备停运大于一周,停运设备需采用干保养。(3)对于常规岛油系统的保养方式,如无检修工作则无需排油,GTH系统保持运行。启机前,由化学负责对GGR/GFR系统取样进行化验,确保启机前油质合格。(4)汽轮机辅助转动设备按预防周期,结合定期转动频度进行润滑及转动检查。(5)汽轮机本体及辅助系统保养可通过GCA或SAT压缩空气进行,根据OPC建议,决定二回路水侧保养方式,由专业持票执行,出票时间控制在系统停运初期,需借助设备温度将残水蒸干,以保证保养效果。(6)机组长期停运期间专业需对保养容器进行巡检,以防保养管线漏气影响保养效果。(7)因常规岛部分人孔门需要打开,机组上行前6-8天(含主隔离解除、系统在线、二回路水冲洗及除氧等),由专业检修后恢复。

4 电气相关设备保养

4.1对于发电机的保养方式

(1)GRV系统正常运行,发电机不排氢,并且GST系统正常运行,OPC定期取样监测水质合格,无需其他特殊保养方式。(2)如果GRV系统停运,发电机已排氢,GST系统必须停运,发电机停运16天以内,维持GST水保养,OPC在启机前对GST水质取样,确保GST水质(电导率)合格;对定子膛和励磁机通压缩空气进行保养;发电机停运16天以上,GST系统需停运并实施TSD,对定子线棒进行吹扫,并且氮气保养;对定子膛和励磁机需通过压缩空气进行保养;对于机组停运时间并不确定的情况,需尽快恢复发电机氢气供给以便恢复GST系统运行并取样监测水质;根据机组实际状态化学专业牵头分析并确定最终的保养方案。(3)电气盘无

特殊保养要求,如因下游负荷减少导致母线电压升高,需要进行调整,设备电加热器均属于自动投入的设备,需根据设备状态核实是否正常投入。

4.2机组长期停运期间的电机绝缘测量要求如下

(1)机组启动前需对发电机及励磁机进行启动前检查;同时需要检查发电机的相关碳刷无卡涩和异物。(2)关于6.6kV电机绝缘测量要求:6.6kV电机在停运状态下如电加热器未投运时间超过7天、解体后第一次启动、新装电机第一次启动,在电机启动之前需进行绝缘测量;RRA001/002P0因其处于RX厂房,无法监测到加热器运行情况,启动前需进行绝缘测量。(3)关于380V交流电机绝缘测量要求:380V电机因运行电压低,且绝缘要求低,除通用部分中规定的要求及下面的情况外,如无特殊需求,在启动前可不进行绝缘测量。对于与机组可用率和核安全相关且无备用的电机如PTR001/002/006P0,若上述电机加热器退出运行时间超过7天,在电机启动前需进行绝缘测量;对于长时间停运的电机如ADG010P0、PTR004/005P0,在电机启动前需进行绝缘测量。

5 结束语

此外,电站应积极与电网沟通,越早确定升降功率的时机对机组控制越有利,提前7天以上最佳,可保证所做的定期试验按期完成。如临停时间大于4周,多机组的电站可采取轮流临停的方式进行分担。电站应成立专项保驾小组对各项工作进行协调,处理停运期间产生的各种缺陷,以确保电力供应的可靠性,承担起核安全、电网安全、能源保供安全的三位一体责任。

[参考文献]

- [1]雨红蔡.电力市场改革对电力企业经营管理的影响[J].档案管理与企业发展研究,2024,2(5):55-57.
- [2]梁朝峰.新形势下电力调度的安全管理[J].现代交通与路桥建设,2023,2(8):171-173.
- [3]敖泽闽,乔程.国内核电站带基荷运行的必要性分析[J].商品与质量,2016(12):332.

作者简介:

方威(1983—),男,汉族,湖北襄阳人,工程师,本科,研究方向:核电运行。