浅析核电机组冷源设置及单台 CRF 跳泵后的风险与应对

Analysis of Cold Source Setting of Nuclear Power Unit and the Risks and Countermeasures of Single CRF Jumping Pump

赵玉

Yu Zhao

福建宁德核电有限公司 中国·福建 宁德 352000

Fujian Ningde Nuclear Power Co., Ltd., Ningde, Fujian, 352000, China

摘要:“冷源丧失”事件是近几年各核电厂集中爆发的群厂性问题,通常对于沿海核电机组来说,这个最终的冷源(热阱)即大海。对于单台 CRF 跳泵,其带来的风险主要有真空恶化、热功率超限值以及钛管破裂可能性增加等,尤其是钛管破裂是之前分析较少的领域。通过从振动、应力、腐蚀三方面分析,单台 CRF 跳泵后,钛管振动是导致钛管破裂的最大可能性。

Abstract: The “loss of cold source” event is a group problem that has erupted intensively in various nuclear power plants in recent years, usually for coastal nuclear power units, The final cold source (heat sink) is the sea. For a single CRF pump trip, the risks mainly include vacuum deterioration, thermal power exceeding the limit and the increase of the possibility of titanium pipe fracture. In particular, titanium pipe fracture is a field less analyzed before. Through the analysis from three aspects of vibration, stress and corrosion, titanium pipe vibration is the most likely cause of titanium pipe fracture after a single CRF pump trip.

关键词: 冷源; CRF 跳泵; 钛管破裂

Keywords: cold source; CRF pump; trip titanium tube rupture

DOI: 10.12346/etr.v4i5.5642

1 引言

广东阳江核电在 2020 年 3 月 25 日,由于毛虾群突然爆发导致循环水泵相继跳闸,阳江核电厂 3/4/6/2 号机组先后自动停堆。

海南昌江核电在 2018 年 4 月 6 日,因海南昌江核电厂海域起七级大风,大量海草、贝类等物涌入取水口,导致 1/2 号机组停机停堆。

广东岭澳核电在 2016 年 1 月 8 日,由于毛虾爆发,导致岭澳 1/3 号机组短时降功率运行。

福建宁德核电在 2015 年 8 月 7 日,因海地瓜入侵 B/A 列循环水泵先后停运,宁德核电厂 3 号机组自动停堆。

辽宁红沿河核电在 2015 年 7 月 26 日,因水母量增多,期间 2 号机组降功率至 700MW 运行。

2 核电厂冷源概述

2.1 什么是冷源(核电站冷源简介)

根据解释,冷源定义为对其放热而不改变其自身温度的

系统。具体到电厂,特别是论文提到的核电机组,冷源可以理解为机组运行所产生热量的最终接收者,通常对于沿海核电机组来说,这个最终的冷源(热阱),即大海。而将运行热量一层层传递到海水过程中所涉及到的系统,就是冷源相关系统,简称冷源。

2.2 核电机组冷源设置概述

由上可知,我们可以看出核电机组的热量来源主要有反应堆运行产生的热量、核岛设备运行产生的热量和常规岛设备运行产生的热量。他们分别的热量传递线路为:

反应堆热量—蒸汽发生器—发电机—冷凝器—CRF—大海
 反应堆热量—PTR/RRA—RRI—SEC(CRF取水)—大海
 核岛设备热量—RRI—SEC(CRF取水)—大海
 常规岛设备热量—SRI—SEN(CRF取水)—大海

可以看出,CRF 系统取水是否顺畅,运行是否正常,直接影响了核电机组热量向大海的传递(说明:设计上 SEC 取水口和 CRF 共用,取水口位于 CRF 泵上游,所以 CRF 泵停运后,SEC 系统仍可继续运行。而 SEN 泵取水口位于

【作者简介】赵玉(1986-),男,中国河南安阳人,本科,工程师,从事核电厂运行工作、核电瞬态缺陷对核电运行类缺陷的分析研究。

CRF 泵下游, 即 CRF 泵停运后, SEN 泵无法继续运行)。

近年来, 随着冷源事件反馈的不断增多, 各核电厂均针对 CRF 进水渠进行了大量改进。具体内容如下:

- ①加强生态调查, 熟悉电厂海域生物特点以便针对性拦截。
- ②进水渠增设多到不同目密度拦截网, 提高拦截能力。
- ③采用声波、摄像等电子化信息化手段加强海域海况监测, 提前预警提前干预, 从而最大限度保障 CRF 泵的安全稳定运行^[1]。

3 单台循环水泵跳泵后影响及相应措施

3.1 凝汽器真空恶化

3.1.1 原因

① CRF 失去一列, 导致通过凝汽器的海水流量减少, 冷却能力下降导致排气冷凝温度升高, 失去海水列的凝汽器钛管温度升高, 凝汽器真空恶化。

②对应的真空抽气阀关闭, 影响不凝结气体的抽出, 也会导致真空恶化。

③保持开启的真空抽气阀(对应 CRF 正常列)抽取的蒸汽量增加, CVI 真空泵吸力下降, 对真空也有影响。

3.1.2 应对措施

- ①启动第二台和第三台真空泵, 帮助维持真空。
- ②尽快降功率。

3.2 热功率超过 2905MW

3.2.1 原因

如果机组在满功率运行(热功率接近 2905MW), 凝汽器真空恶化导致冷源损失增加, 二回路效率下降, 为了保持电功率不变, 则需要使用更多的蒸汽, 汽机进气阀开大, 从而导致反应堆过冷, 一回路平均温度降低, 热功率增加。

3.2.2 应对措施

尽快降功率, 减少热功率超过 2905MW 的时间^[2]。

3.3 SEN 一列停运

3.3.1 原因

CRF 失去一列, 导致对应列 SEN 泵失去取水, 该列 SEN 泵停运。

3.3.2 应对措施

另一列备用 SEN 泵自动启动, 就地加强巡视。

3.4 SRI 温度上升

3.4.1 原因

SEN 一列停运导致。

3.4.2 应对措施

系统自动响应, 主控加强监视。

3.5 低压缸末级叶片温度增加

3.5.1 原因

低压缸排气温度的升高导致。

3.5.2 应对措施

通过 GME001YCD 加强低压缸排气口温度监视。

3.6 CVI 泵运行条件恶化

3.6.1 原因

CRF 跳泵后对应的真空抽气阀关闭, 保持开启的真空抽气阀(对应 CRF 正常列)抽取的蒸汽量增加, 导致 CVI 泵运行条件恶化。

3.6.2 应对措施

- ①启动第二台和第三台真空泵。
- ②尽快降功率。

3.7 冷凝器破管可能性增加

3.7.1 原因

① CRF 跳泵后对应真空破坏阀打开, 失去海水的冷凝器钛管内外压差增加, 增加破损概率。

②钛管振动增加: 冷凝器钛管在各种运行工况下都会发生振动, 引起冷凝器发生振动的振源主要有: 一是低压缸排气流引起的扰动; 二是排气流在管壁表面脱流引起的扰动, 也称卡门涡流; 三是管壁上不稳定气体动力升力引起的扰动; 四是机械上传递的力引起的扰动。

当一台泵停运后, 由于其中一组传热管束内部不再有冷却水流动, 故蒸汽的冷凝主要依靠另外一组传热管束进行, 即冷凝面积为原来的 1/2, 因此蒸汽流速相对原工况稍有增大。根据 ASMEOM-S/G-2007 PART11, 换热器传热管流致振动与壳侧流体的流速存在较为典型的关系: 在低流速时, 传热管呈现幅度较小的随机振动特征; 当流速增大时, 传热管振动幅值也会随之增大, 当流速过大时, 传热管之间以及管与管支撑板之间可能出现碰撞形成磨损等损伤。故对于未停运侧的传热管束, 可能由于蒸汽流量的增大造成传热管束振动幅度变大。同时, 根据传热管流体弹性失稳的稳定性准则, 当流速增高时, 流体的动力效应增大且不稳定, 随动压头增加, 振幅迅速增加^[3]。

③应力方面: 运行工况下壳体的温度高于换热管的温度, 并且钛管热膨胀系数小于碳钢材料, 所以运行中凝汽器壳体的热膨胀大于换热管。凝汽器双列投运工况中, 即凝汽器壳体对于换热管束有一定的拉伸载荷。同时, 凝汽器外表面热扩散较慢, 假设凝汽器壳体温度为高温流体温度, 运行中一列 CRF 跳闸导致一列钛管未通冷却介质, 则假定此时管束也为壳体一侧高温流体温度。

3.7.2 应对措施

①设计上尽量避免钛管共振: 设计上是冷却管当作两端固定中间筒支的连续梁考虑, 计算其横向自然振动频率。考虑上述振源, 考虑循环水温最低、负荷最大工况下的跨度值, 通过确定安全的钛管支持隔板间的自由跨度来避开共振。

②单台 CRF 跳泵后, 不能仅仅参考凝汽器真空值而维持在高功率平台运行。应尽量避免维持在高功率平台, 根据分析报告, 可针对不同的海水温度, 控制不同的单台 CRF 泵运行功率限值, 实际冷源问题一旦爆发大概率为电厂群堆问题, 为提高应对效率, 核电厂一般选择降功率至约 60%

运行(约500~700MW)。

③尽快恢复停运的CRF泵运行。

4 结语

“冷源丧失”事件是近几年各电厂集中爆发的群厂性问题,当因为海洋生物或设备问题,导致CFI滤网压差高4,单台CRF跳泵后,其带来的风险主要有真空恶化、热功率超限值以及钛管破裂可能性增加等,尤其是钛管破裂之前分析较少的领域。论文通过从压差、振动、应力、腐蚀等方面分析,单台CRF跳泵后,钛管振动是导致钛管破裂的最大可能原因。在发生单台CRF泵跳闸后,应立即着手进行降功率操作(避免热功率超限),并根据真空情况启动备用的

CVI泵(保证真空,避免跳机),同时降功率的目标平台不能仅仅通过真空稳定来判断,较高的功率平台导致但CRF泵运行工况下,凝汽器钛管破裂的可能性大大增加。应根据对应海水温度的功率定值确定单台CRF泵运行的允许的功率平台。

参考文献

- [1] 李成宝,李彬.超大型双曲线间接空冷塔施工技术研究与应用[J].工程技术研究,2020(22):54-55.
- [2] 刘景钺,孟令国,马慧勇.辅机与主机间接空冷塔整合布置研究[J].电力勘测设计,2021(S1):142-143.
- [3] 赵建刚.某电厂间接空冷设备分析[J].科技与创新,2014(2):67-68.