

核电厂重要厂用水泵轴封水管线压力高研究和改进

陈汉斌 林惠强 冯博 高翔 熊颖峰 杨武

苏州热工研究院

DOI: 10.12238/ems.v5i8.7444

[摘要] 某核电厂重要厂用水系统 (SEC) 泵轴封水管线长期存在压力过高的问题, 为解决该问题, 本文从轴封水来流压力和盘根结构设计 2 个方面对问题进行系统性深入分析, 提出对比方案, 并最终确定在轴封水管线新增定制减压阀降低其来流压力的方案。该方案经现场实践论证切实可行, 可为存在共性问题的核电厂提供通用的解决思路和解决方案。

[关键词] 核电厂; 重要厂用水系统 (SEC); 轴封水; 压力高; 改进

Research and improvement on high pressure in the shaft seal water pipeline of important plant water pumps in nuclear power plants

Chen Hanbin Lin Huiqiang Feng Bo Gao Xiang Xiong Yingfeng Yang Wu

Suzhou Thermal Power Research Institute

[Abstract] A nuclear power plant important plant water system (SEC) pump shaft seal water pipeline has a long history of high pressure problems, in order to solve the problem, this paper from the shaft seal water flow pressure and packing structure design of the two aspects of the problem of systematic in-depth analysis, put forward a comparative program, and finally determined in the shaft seal water pipeline to add a new customized pressure reducing valves to reduce the pressure of its flow program. The program has been proved to be practical and feasible, and can provide common ideas and solutions for nuclear power plants with common problems.

[Key words] nuclear power plant; critical plant water system (SEC); shaft seal water; high pressure; improvement

中国改进型三环路压水堆 (CPR1000) 核电厂存在重要厂用水系统 (SEC) 泵轴封水管线压力高的问题。轴封水管线压力过高, 导致盘根磨损加剧, 使用寿命降低, 轴封用水量增加。某核电厂采取了在该管线上增加孔板降压、提高轴封水泄漏量等措施, 均未彻底解决轴封水压力高的问题。日常运行中, 频繁出现因盘根磨损过度导致轴封水压力过低的情况, 非计划进行盘根更换会降低 SEC 泵的可靠性。

目前少数核电厂进行了相关改进, 尚无对该问题的系统分析和成熟的解决方案。本文在吸取参考核电厂改进经验的基础上, 对该问题进行系统研究, 提出改进方案并进行方案

验证。

1 系统和设备简介

SEC 系统是一个开式循环系统, 通过 SEC 泵输送海水至冷却水系统 (RRI) 的板式热交换器, 将 RRI 系统收集的核岛用户热负荷输送到海水最终热阱。SEC 泵是 SEC 系统的重要组成部分, 海水经 SEC 泵提升压力, 沿 GA 管廊进入核辅助厂房区域, 经贝类捕集器后进入 RRI/SEC 板式热交换器。

SEC 泵轴封形式为盘根密封, 盘根密封也称填料密封, 主要由盘根、盘根箱和压盖结构组成。盘根装入盘根箱后, 经压盖结构压紧, 与泵轴紧密接触。与此同时, 轴封水对盘

根进行浸润,防止盘根对泵轴进行干磨。为保证轴封水的不间断供应,往往使用2条独立水源进行供水,分别为常用轴封水和备用轴封水。

2 原因分析

2.1 盘根结构设计

某核电厂 SEC 泵轴封供水常用轴封水,采用常规岛工业水系统(SEI)水源,备用轴封水采用核岛除盐水分配系统(SED)水源。2路水源由地表经廊道引至地下约-20 m 的 SEC 泵坑,随着重力势能的降低,SEI 和 SED 轴封水压力分别升至 8 bar.g 和 11 bar.g。但由于 SEC 泵停运时泵出口压力为 1 bar.g,运行时泵出口压力为 6 bar.g,厂家将轴封水来流压力设计为 5 bar.g,相应轴封结构以分水环为界分为上方 3 道盘根、下方 1 道盘根。轴封水经上方 3 道盘根引出轴封回水,经下方 1 道盘根注入泵腔,从而防止泵出口海水窜至泵轴上方,如图 1 所示。

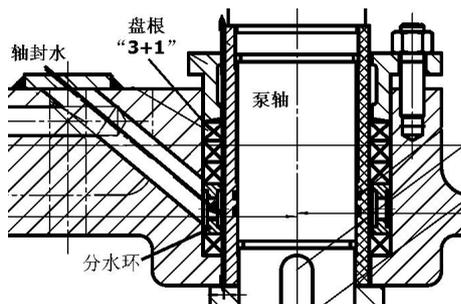


图 1 SEC 泵盘根结构图

在运行维修手册中,轴封回水量需保证在 10~300 L/h 范围。其流量范围较低主要有 2 个原因:①轴封水仅需润湿盘根即可防止盘根干磨泵轴,达到盘根正常运行条件;②避免轴封水的浪费,因为轴封回水流量经 3 道盘根后的泄漏量远小于经 1 道盘根后注入泵腔的流量,如果轴封回水流量过大,意味着更多的轴封水注入泵腔,造成轴封水的浪费。在整体系统设计中,轴封管线上并未设计流量计,导致轴封管线流量和轴封注入泵腔流量无法测量。

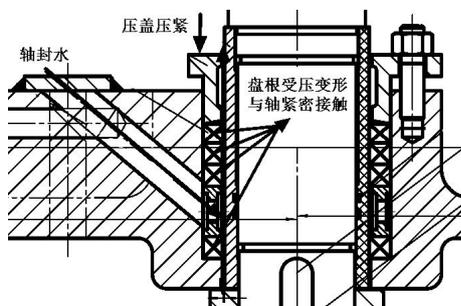


图 2 盘根压紧示意图

2.2 运维实践

实际运维过程中,由于轴封水来流压力(8、11 bar.g)大于盘根结构设计压力(5 bar.g),盘根回水流量增大。为保证轴封回水在 10~300 L/h 的流量范围,需持续对盘根压盖螺栓进行紧固,使盘根径向形变量增加,盘根与泵轴套紧密接触,向上流出的轴封回水量降低,如图 2 所示。

泵运行过程中,盘根与泵轴接触过紧,盘根内侧的磨损速率加剧,导致盘根寿命降低,尤其最下方盘根最为严重,历史上出现过最下方盘根全部磨损消失的案例。由于最下方盘根磨损严重,轴封水大量注入泵腔,而轴封水压力受下游背压影响,呈现大幅下降,经常触发压力低报警。此时,需进行 SEC 泵非计划隔离检修,更换盘根材料,降低了 SEC 泵的可靠性和可用率。

2.3 历史经验措施

为解决 SEC 泵轴封水压力高、盘根更换周期降低等系列问题,该核电厂工程期间在轴封水管线上安装了孔板,孔板流量范围以运行维修手册要求的小流量为设计输入。实际运行过程中,由于轴封水管线流量远大于运行维修手册要求的流量,流经孔板的压降过大,无法实现预设的减压效果,因此取消该孔板。

此外,该核电厂还对轴封回水泄漏量进行调整。调整依据为在泵满足正常运行要求的前提下,将轴封回水流量上限设置为“盘根处密封水不存在飞溅现象,且泵盖上的密封泄漏水可通过泵盖上的密封泄漏小法兰正常流出,不存在从泵盖上部溢出现象”,将流量下限设置为“盘根处有目视可见的连续滴状水流,且密封压盖温度不超过正常运行的最高温度”,将关注值和干预值分别提高至 400 L/h 和 500 L/h。牺牲部分轴封水流量以避免过度干预紧固盘根压盖,进而防止盘根过紧而磨损加剧。

3 改进方案

对于长期存在的轴封水来流压力和盘根结构设计压力不匹配的问题,该核电厂计划开展改造项目,彻底解决系列问题。

(1) 方案一:由轴封水来流压力入手,在 SEC 泵轴封水管线上设置减压阀,并配套减压阀的检修隔离阀;

(2) 方案二:从盘根结构入手,通过返厂修改 SEC 泵的盘根密封腔室结构,在最下方增加 1 道盘根,进而使整体盘根结构设计压力满足现场高压轴封水。

虽然方案一可有效解决轴封水压力过高的问题,但由于 SEC 泵轴封水管线流量范围大,且要求不间断可靠供水,需

选择大流量范围的手动减压阀;而方案二可从根本上解决盘根结构设计不满足高压轴封水的问题,但由于需返厂改造,返厂成本高,工期长,返厂期间将降低 SEC 系统冗余度,频率占用非正常运行状态(I0)窗口。经电厂各专业沟通讨论和设计验证,最终选取方案一作为最终改进方案。

3.1 减压阀选型

新增阀门所在管线等级为 RCCM-NC, 尺寸为 3/4" (外径 OD26.7 mm), 壁厚等级为 SCH10S (2.11 mm), 材质为 316L, 抗震等级为 1F, 流体介质为淡水, 清洁度为 C 级, 设计温度为 33℃, 无保温与伴热。由于轴封水管线流量范围较大, 需重点对新增减压阀的流量系数进行核算^[3], 并联系厂家进行专项设计和定制。

减压阀流量系数计算式为:

$$K_v = \frac{10Q}{\sqrt{(P_1 - P_2) / \gamma}} \quad (1)$$

$$C_v = 1.156K_v \quad (2)$$

式中: Q 为液体流量, t/h; P₁ 为阀前压力, kPa; P₂ 为阀后压力, kPa; γ 为液体密度, g/cm³; K_v 为国内通用流量系数; C_v 为国际通用流量系数。

考虑轴封回水流量干预值为 400 L/h, 适当扩大流量范围, 将新增减压阀流量设计为 100~1 000 L/h。由于减压阀需将 SEI 或 SED 轴封水出口压力降至 5 bar.g, 故 P₁-P₂=300~600 kPa。经计算, C_v 范围为 0.04~0.67, 减压阀相关参数如表 1 所示。

表 1 采购参数表

类型	参数	类型	参数
参考型号	INNSBH0020	液体介质	除盐水
公称通径	DN20	工作温度/℃	0~50
阀前压力/bar.g	8~12	工作压力/bar.g	5~12
阀后压力/bar.g	5	连接形式	法兰连接
流量范围/(L/h)	100~1 000	抗震等级	1I

3.3 软件计算

由于 SEC 泵轴封水管线抗震等级为 1F, 选取受力较大的 SEC0021 管线进行包络计算。在阀门上游新增支架后, 并为保证轴封水连接至泵的接管载荷满足要求, 在轴封水与泵的接口处新增支架。最终计算结果显示, 改进方案的管线和支架强度均满足 RCC-M 规范的要求。

4 实施验证

SEC 泵轴封水管线增加减压阀的改造方案已在 2 个核电

厂实施, 经多轮燃料循环周期的运行验证, 该方案可降低 SEC 泵轴封水压力高的问题。但 2 个核电厂分别将减压阀的设计流量扩大至 10~500 L/h 和 100~1 000 L/h, 从实际压力波动和调节效果来看, 将减压阀设计流量扩大至 100~1 000 L/h 的方案更佳。该方案实施后, SEC 泵的盘根可实现在机组停堆换料窗口进行更换, 且在该轮燃料循环周期平稳运行, 提高了 SEC 泵轴封水管线和 SEC 泵的安全性和可靠性, 减少了非计划检修窗口和现场紧急响应。

5 结束语

SEC 系统的安全稳定运行对核电厂至关重要。本文对 CPR1000 核电厂出现的 SEC 泵轴封水管线压力高的问题进行分析和验证, 提出了通用可行的方案, 即通过在轴封水管线新增定制减压阀降低其来流压力。该方案可为 CPR1000 机组处理相近问题提供经验与借鉴。

[参考文献]

- [1] 中华人民共和国国家能源局. 火力发电厂汽水管线设计规范: DL/T 5054—2016[S]. 北京: 中国计划出版社, 2016.
- [2] 中华人民共和国国家能源局. 核电站常规岛汽水管线设计技术规范: NB/T 20193—2012[S]. 北京: 原子能出版社, 2013.
- [3] 钱锦远, 金志江. 特种阀门流动分析技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2021: 20-78.
- [4] 曲日林, 高新新. 核电厂 CRF 循泵轴封水压力波动及改进方案研究[J]. 给水排水, 2018, 54 (S1): 14-16.
- [5] 张锦川, 李永福. 高扬程填料密封结构水泵轴封水压力的调节[J]. 排灌机械, 2005, (01): 33-34.
- [6] 李乃刚. 浅析离心泵设备的管理和维修[J]. 中国设备工程, 2023, (06): 60-63.
- [7] 王东志, 黄杰生. 核电厂循环水泵轴封水压力波动问题分析及应对措施研究[J]. 给水排水, 2017, 53 (S2): 37-39.
- [8] 金潇. 离心泵设备管理及维修技术分析[J]. 中国设备工程, 2020, (18): 56-57.
- [9] 甄伟丽, 江春兴. 离心泵填料密封的改造[J]. 化工管理, 2014, (20): 198.
- [10] 刘富强. 灰渣泵轴封水系统优化改造及应用[J]. 电力安全技术, 2006, (06): 33.
- [11] 李国祥. 盘根式水泵轴封泄漏在线修复技术应用[J]. 设备管理与维修, 2021, (18): 46-47.