

# 核电厂主蒸汽管道疏水器液位高报警原因分析

张雷, 黄财坤

大亚湾核电运营管理有限公司, 广东 深圳

收稿日期: 2024年5月24日; 录用日期: 2024年7月8日; 发布日期: 2024年8月26日

## 摘要

某核电厂4号机组第9次大修后, 主蒸汽系统(VVP)管道疏水器出现液位高报警频繁触发的情况。经调查处理, 考虑到该故障模式较为典型, 本文对故障分析处理过程进行了总结, 明确了故障原因及故障与机组功率之间的关联性, 并制定后续改进措施。鉴于群厂VVP管道疏水器出现液位高报警的情况多有发生, 该问题的分析结果对后续处理类似问题具有一定的参考意义。

## 关键词

疏水器, 报警, 功率, 主蒸汽

# Analysis of the Causes of High Liquid Level Alarm in the Steam Trap of the Main Steam Pipeline in Nuclear Power Plant

Lei Zhang, Caikun Huang

Daya Bay Nuclear Power Operations and Management Co. Ltd., Shenzhen Guangdong

Received: May 24<sup>th</sup>, 2024; accepted: Jul. 8<sup>th</sup>, 2024; published: Aug. 26<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

After the 9th major overhaul of Unit 4 in a nuclear power plant, the main steam system (VVP) pipeline drain frequently triggered a high liquid level alarm. After investigation and handling, considering that the fault mode is relatively typical, this article summarizes the fault analysis and handling process, clarifies the cause of the fault and the correlation between the fault and the unit power, and formulates subsequent improvement measures. Given the frequent occurrence of high liquid level alarms in the VVP pipeline steam trap of the group factory, the analysis results of this problem have certain reference significance for subsequent handling of similar problems.

## Keywords

Steam Trap, Alarm, Power, Main Steam

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

压水堆核电站二回路系统为饱和蒸汽,在停机、启动、正常运行条件下运行时,管道内蒸汽会因主蒸汽管道散热而在靠近管道边缘处温度下降,当其温度低于与蒸汽压力相对应的饱和温度时蒸汽凝结,若凝结的水未被及时排出,凝结水便会存积在某些管路中,这些存积的水由于在运行时与蒸汽的密度、流速均不同,管道阻力也不同,这些积水容易对管道产生冲击,造成严重的后果,因此在压水堆核电站二回路系统中布置了大量疏水器。疏水器的作用是将蒸汽输送管道中产生的凝结水排放到管道外,以保证蒸汽品质,避免造成水锤事件。若疏水器出现疏水不畅的现象,须尽快进行处理,以保证机组正常稳定运行[1]。

针对疏水器液位的高报警机理,目前国内已有大量研究资料,但大多集中在疏水器的设计疏水能力不足、杂质堵塞、内部结构异常等方面,本文除了分析此类故障模式外,还从其他方面进行调查,并发现了其他重要的相关因素。

## 2. 情况简介

### 2.1. 问题描述

国内某核电厂4号机组第9次大修后,主蒸汽系统(VVP)管道疏水器VVP103PU多次触发液位高报警信号(VVP702KA)的现象,查询该核电基地多个机组的历史运行情况,发现VVP103PU液位高报警现象并不少见,具有一定的普遍性。

### 2.2. 设备简介

VVP103PU采用NP100型双金属疏水器,利用蒸汽和凝结水之间的温差引起双金属片的变形或膨胀带动阀芯开启或关闭阀门,从而达到阻气排水的目的。其工作原理是:当管道中产生较多凝结水时,温度下降促使双金属片形变回缩,带动阀瓣离开密封面,凝结水排出;当凝结水排净后,蒸汽到达疏水器,高温使双金属片膨胀带动阀芯压紧密封面,疏水停止。

## 3. 原因分析及排查

经分析,导致VVP103PU频繁出现液位高报警的可能原因主要有:①设计疏水不足;②杂质堵塞;③安装不当;④双金属片过度形变;⑤关阀调节过量;⑥系统疏水量增加;⑦液位开关定值漂移。

### 3.1. 原因排查

经调查发现,该机组同类疏水器VVP101/102PU均未出现过液位高报警现象,VVP103PU在大修前近一年半未出现过液位高报警。因此,可排除疏水能力不足的设计原因及安装方式错误的可能原因。

对VVP103PU进行解体检查,未发现疏水器的双金属片变形、杂质堵塞等异常现象,此外,经检查,

液位开关也未发现异常, 因此, 可排除上述可能原因。

通过对设备维修历史的调查, 发现该大修曾对 VVP103PU 执行过预防性解体检查, 并对其各部件进行清洗, 更换了密封面组件。由于 VVP103PU 调整杆的设定值在解体过程中会发生变化, 初步怀疑疏水器回装时调整杆未按原开度值进行设置, 导致疏水器的疏水能力较解体前发生变化。

基于此, 现场对 VVP103PU 调整杆进行了 3 次调整, 以提高其疏水能力。调整前, 1 天内触发的报警数多达 28 次; 调整后, 13 天内仅触发 2 次报警, 调整效果明显。

### 3.2. 液位高报警与机组功率的关联性

调查期间发现, 机组电功率从 940 MWe 降至 833 MWe, 半天内再次出现 13 次液位高报警。在此之前也出现过同样的现象, 当机组电功率从 1091 MWe 降至 940 MWe 时, 疏水器出现液位高报警的频率明显增加。针对这一情况, 对液位高报警与机组功率之间的变化趋势进行了调查研究, 发现两者之间存在很强的关联性。在机组 2022 年 1 月 12 日、2022 年 1 月 26 日 2 次降功率操作下, 疏水器液位高报警频率均大幅增加。

针对该现象, 分析蒸汽管道疏水的两个机理: 一方面, 管道保温层外壁与环境大气之间的换热导致管道内蒸汽凝结; 另一方面, 核电机组蒸汽为饱和态的湿蒸汽, 具有一定的湿度, 在流动过程中, 以雾状形式混合在湿蒸汽中的饱和水在流经弯头、三通及阀门等管件时, 部分将以凝结水的形式从湿蒸汽中析出。

参考相关文献, 发现疏水量与蒸汽压力、蒸汽流量、蒸汽温度、环境温度均有关[2] [3], 其中蒸汽压力和蒸汽流量对疏水量的影响尤为关键。疏水器的排水量可以用如下公式表示[4]:

疏水器排水量 GN 按数值方程式计算, GN 单位为 Kg/h:

$$GN = Ad^2 \sqrt{p_1 - p_2}$$

其中  $d$  为疏水器排水直径, mm;  $p_1$ 、 $p_2$  分别为疏水器前后压力, kPa;  $A$  为排水系数。从该公式可以得出如下表 1 的分析结论:

**Table 1.** The relationship between hydrophobicity and steam pressure, flow rate, temperature, and ambient temperature  
**表 1.** 疏水量与蒸汽压力、流量、温度、环境温度之间的联系

参数	描述	与疏水量的关系	敏感度
蒸汽压力与疏水背压	当管网供汽流量较小时, 管网后半段的蒸汽处于饱和状态, 供汽压力增大会导致蒸汽的饱和温度升高, 大量蒸汽从邻近饱和状态变为饱和状态, 管网凝结水量增加。 根据文献研究[5], 蒸汽疏水系统出口背压低于疏水器内部流动影响明显, 出口背压较低时管路流动流畅, 出口背压高时流动较为缓慢, 严重情况下, 当出口背压等于入口背压时则可能发生疏水堵塞, 国内某核电厂曾经出现过因疏水不畅最终导致反应堆专设安全设施启动的事故。		高
蒸汽流量	流量升高后, 管网内蒸汽流速加快, 蒸汽与外界的换热时间减少, 疏水量减少。	负相关	高
蒸汽温度	蒸汽温度升高, 可避免蒸汽凝结成水, 因此疏水量减少, 但经计算和验证, 影响较小。	负相关	低
环境温度	环境温度升高会减小管内蒸汽与外界的换热温差, 从而减少散热损失, 减少凝结水的产生。	负相关	低

调取某一时间段内机组升降功率后 VVP 主蒸汽压力、温度、流量的变化趋势, 由于环境温度与功率升降无关, 此处不考虑。可见降功率后, 主蒸汽压力升高、流量降低、温度升高, 由于压力和流量对疏水量的影响大于温度的影响, 因此降功率后疏水量增加。

### 3.3. 小结

根据上述分析, 对导致 VVP103PU 液位高报警频繁触发的可能原因进行总结, 如表 2 所示。

**Table 2.** Possible analysis of frequent triggering of VVP103PU liquid level high alarm

**表 2.** VVP103PU 液位高报警频繁触发的可能原因分析

可能原因	支持依据	反对依据	可能性
设计疏水不足	无	同机组同类型疏水器未出现该问题	低
杂质堵塞	无	解体未发现杂质堵塞	低
安装错误	无	疏水器未包裹保温, 安装方向无异常	低
双金属片过度形变	无	解体未发现异常	低
关阀调节过量	1) 大修有过解体工作 2) 大修前未出现频繁报警问题	无	高
系统疏水量增加	大修后机组多次升降功率, 且多处于低功率平台	无	高
液位开关定值漂移	无	大修前未出现频繁报警问题	低

从表 2 可知, VVP103PU 频繁出现液位高报警的原因是 4 号机组第 9 次燃料大修期间, VVP103PU 曾执行过预防性解体检查, 由于疏水器调整杆在回装时未设定解体前状态, 导致回装后疏水量变小; 同时, 由于大修后机组多次升降功率操作, 且机组大部分时间处于低功率平台, 在低功率平台蒸汽管道疏水量明显增加, VVP103PU 疏水不足, 从而导致液位高报警频繁触发。

### 4. 改进措施

明确原因后, 电厂选择在低功率平台疏水量较大的情况下, 对疏水器疏水能力进行调整, 使疏水量既能满足管线疏水要求, 又能避免因疏水能力过大而导致蒸汽流失。

此外, 为避免疏水器全检后再次出现疏水能力设定出现偏差, 电厂对检修程序进行了升版, 提醒回装时应将调整杆设定回原开度值, 并增加工作负责人签字环节, 以加强对关键点的管控。

### 5. 结束语

该核电基地乃至群厂历史上, 曾多次出现 VVP101/102/103PU 疏水不畅导致频繁触发液位高报警, 问题调查的方向往往是核查疏水器疏水能力设计是否满足, 或是否存在杂质堵塞、双金属过度形变、液位开关发生漂移等情况, 对机组的功率变化可能导致蒸汽管线疏水量增多的机理并未引起关注, 导致问题处理的关键点被遗漏。

本文重点分析并强调了机组功率变化对疏水量的影响, 以提醒在后续处理类似问题时, 应首先关注机组是否已进行降功率操作或处于低功率平台, 并进行相应的调整, 使疏水能力匹配机组疏水量, 保证蒸汽品质, 从而保护重大设备。

### 参考文献

- [1] 广东核电培训中心. 900 MW 压水堆核电站系统与设备[M]. 地点: 原子能出版社, 2005.
- [2] 高建强, 曹浩, 危日光, 等. 供汽管网凝结水量及其影响因素仿真研究[J]. 热力发电, 2021, 50(3): 70-76.
- [3] 范逸致, 商显有, 胡友情. 核电站主蒸汽管道疏水量预测[C]//2012 年中国电机工程学会年会论文集: 2012 年卷. 北京: 中国电机工程学会, 2012: 1-8.  
[https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=3977cc9a013625c24ecb9cc0191c92d2&site=xueshu\\_se&hit](https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=3977cc9a013625c24ecb9cc0191c92d2&site=xueshu_se&hit)

[article=1](#)

- [4] 张林平. 蒸汽疏水器在生产中的应用[J]. 化工技术经济, 2004, 22(4): 30-32.
- [5] 郭新刚. 核电厂主蒸汽管路压力差异影响蒸汽疏水系统流动性能的数值研究[J]. 节能技术, 2016, 34(5): 465-469.