

660MW 汽轮机凝结水系统优化探索

何宇光 贺迪昭

陕西黄陵发电有限公司 陕西 延安 727307

摘要: 对某660MW火力发电厂汽轮机凝结水系统进行优化探索,研究解决凝结水系统厂用电率偏高的问题,主要原因是汽动给水泵密封水压力受限,凝泵变频器长期处于高频运行;机组在40%-60%负荷区间,除氧器上水调阀开度小、节流损失过大,凝泵再循环阀频繁动作,浪费能耗。通过系列的优化探索,凝泵变频器实现宽幅运行,凝结水系统耗电量降低0.11%,年节约厂用电约715万度。本文的研究对大型火力发电机组凝结水系统深度优化具有一定的指导意义。

关键词: 凝结水系; 逻辑优化; 再循环阀; 压力控制; 节能降耗

引言: 某 660MW 机组凝结水系统配置 2×100% 容量立式变频凝结水泵,一运一备,配套 100% 容量精处理装置及分级旁路、疏水、补水、杂用等辅助系统,承担向除氧器上水及各用户供凝结水、减温水的核心功能。机组运行中发现,凝结水泵长期中高频运行、除氧器上水调阀节流严重,导致系统电耗偏高;低负荷时段凝结水流量易低于保护定值,造成再循环阀频繁动作,进一步降低系统效率、加剧设备冲刷;同时凝结水加氨后氨气经再循环及真空泵排放,致使汽机房出现氨味,存在安全隐患。为此,本文针对凝泵变频控制、最小流量保护定值及系统流程开展优化研究与实践,以实现系统节能、设备可靠及现场安全提升。

1 系统概述

660MW凝结水系统设置2×100%容量的立式变频调节凝结水泵(变频一拖一方式),一台运行、一台备用,为立式多级导叶式离心水泵,立式筒袋式结构,额定流量1429t/h,扬程332.5m,配套电机1800kW,厂家要求最小防气蚀流量425t/h。泵轴承冷却介质为闭式冷却水,轴封型式为机械密封,电机冷却方式为空气冷却。凝结水精处理装置100%容量,采用单元制布置。5、6号低加设置凝结水小旁路,7、8号低加设置凝结水大旁路。6号低加设置低加疏水泵,疏水泵出口至6号低加出口凝结水管道。5号低加出口设排水口,用于机组启动冲洗排水。

凝结水泵最小流量再循环安装在轴封冷却器出口凝结水管道上,以冷却机组启动及低负荷时轴封漏汽和门杆漏汽,并满足凝结水泵低负荷运行的要求。轴封冷却器前引出凝结水杂用管路,向汽动给水泵密封水泵、低旁、低旁三级减温器、低压缸喷水、疏水扩容器喷水等用户提供减温水^[1]。凝结水补水系统由除盐水泵、凝汽器正常补水管路、凝汽器启动补水管路组成。机组启动时,由

启动除盐水泵通过启动补水管路向凝汽器补水;机组正常运行时,由正常除盐水泵通过正常补水管路补充因汽水损失而消耗的除盐水。

2 存在问题

2.1 凝结水泵变频器长期处于40~45Hz工况运行,机组低负荷时(40%~60%工况),除氧器上水调阀开度较小,节流损失大,凝结水系统平均电耗达到0.29%,系统耗电偏高。

2.2 机组低负荷时(40%~50%工况),凝结水泵出口再循环阀频繁开启,降低系统运行效率、增加再循环阀的冲刷磨损。

2.3 汽机房0米偶有较为浓烈的氨气味道,存在一定安全隐患。

3 原因分析

3.1 凝泵电耗高的研究

凝结水泵的主要任务是将凝汽器热井的凝结水输送至除氧器,同时向给水泵的密封水泵、低旁、系统减温喷水等杂散用户提供凝结水,为保障汽动给水泵运行稳定,需将密封水压力维持在3.0MPa以上,导致凝结水泵长期在40~45Hz频率运行;除氧器上水调阀长期节流运行,不仅造成系统节流损失大、能耗偏高,还增加现场操作难度,同时引发除氧器水位波动大的问题。

3.2 凝结水再循环阀频繁开启的原因分析

凝泵额定流量1429t/h,按规范设置的最小安全流量为额定流量的30%左右,即425t/h。机组在40%~50%负荷区间变工况运行时,凝结水实际流量易波动至425t/h以下,触发再循环阀快开逻辑,导致阀门频繁动作。

3.3 汽机房0米氨味的原因排查

当凝结水pH值降低时,需向凝结水系统中加入氨水提高pH值,氨水加入点位于凝结水系统精处理装置出水

母管处,当氨水遇较高温度的凝结水时,氨水遇热反应方程式为: $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_3 \uparrow + \text{H}_2\text{O} \uparrow$,在凝结水管道中聚积氨气;当凝结水再循环阀开启后,氨气进入凝汽

器内,真空泵将凝汽器内聚积的氨气排向汽机厂房0米层(见下图),导致在凝结水系统加氨水调整Ph值后一段时间内,汽机厂房出现氨气味道。

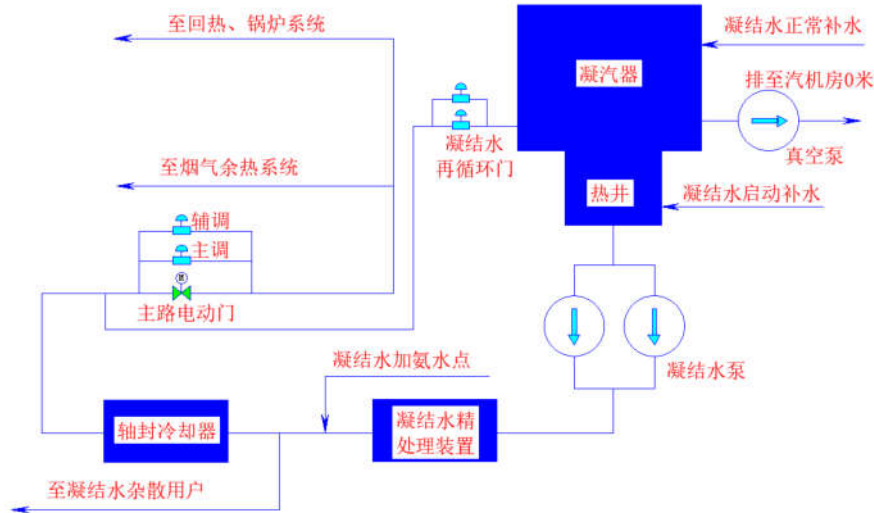


图1 凝结水系统示意图

4 解决方案

4.1 凝结水系统安全节能优化研究实践

凝结水泵变频深度调整,受凝结水用户需求的最低压力和凝泵低频运行振动上升的限制,经实践,普通凝结水用户最低压力需求为1.33MPa,给水泵密封水最低压力需求为1.5MPa,以此作为压力控制基准。

在系统中增设变频调水位选择按钮,保留除氧器上水调门原有控制逻辑,优化升、降负荷工况下变频与调门的联动控制策略:

升负荷过程:先开启上水调门,凝泵变频维持凝结水母管最低压力1.5MPa不变;当主水位调门开度 > 95%时,保持调门全开,凝泵变频调水位功能自动介入,变频器不再跟踪母管压力,直接根据除氧器水位定值调节运行频率;

降负荷过程:变频调水位功能投入时,先维持上水调门全开;当凝结水母管压力降至1.5MPa时,变频调水位功能自动退出,变频器恢复跟踪母管最低压力,由除氧器上水调门负责水位调节。

启停机等特殊工况下,变频调水位功能可手动随时投切,投入后逻辑将根据预设定值自动完成控制模式切换。该优化在保障系统压力满足用户需求的前提下,最大限度减少节流损失,提升系统自动投入率,降低人为操作误差,改善调节精度与运行稳定性,从而实现厂用电率降低。

4.2 最小流量限制的研究

离心泵最小流量分最小连续热限制流量和最小连续稳定流量。前者与泵组汽蚀余量相关,用于防止泵送介质温升引发泵组汽蚀;后者与泵组一阶临界转速、低速振动相关,离心泵通常在最佳效率点附近振动最小,流量偏离该区间则振动加剧。

凝泵原最小流量保护定值为厂家给定的固定值425t/h,定值偏高且未匹配变频变速运行工况。理论上,离心泵变速调节时,装置汽蚀余量随转速提升而增加,必要汽蚀余量随流量呈二次抛物线变化;转速下降时,除圆周速度减小外,进入叶轮的绝对流速也随之降低,泵组最小安全流量可大幅下调^[2]。鉴于此,经多次与泵厂技术部门进行沟通,确定泵组最小流量保护定值能随运行转速的下降而下降,凝泵频率在35Hz运行时,最小流量保护可设置在280t/h,延时30S跳泵。

按照与厂家沟通的结果,结合机组最低负荷时凝结水最低流量,将保护改为凝结水流量 $\leq 280\text{t/h}$ 且凝泵频率 $\geq 35\text{HZ}$,延时30秒跳凝泵;凝结水流量 $\leq 330\text{t/h}$,开凝结水再循环阀^[3]。保护定值优化后,机组正常运行全时段凝结水再循环阀均保持关闭状态。

4.3 汽机厂房0米氨味问题的解决

经分析,汽机房0米氨味是凝结水加氨后,通过再循环阀进入凝汽器,经真空泵抽出凝汽器的氨气,再循环阀关闭后,凝结水所加的氨水全部进入热力系统,不再回到凝汽器,汽机厂房0米氨味问题消除。

5 研究效果分析

典型工况下凝泵频率、凝泵电流和凝泵功率、再循环开度对比：

		264MW	330MW	660MW
频率/Hz	优化前	35	37	45
	优化后	33	34	43
电流/A	优化前	55	58	93
	优化后	46	52	86
功率/kW	优化前	550	570	1240
	优化后	400	468	1105
再循环开度	优化前	20	0	0
	优化后	0	0	0

汽轮机凝结水系统优化实践后，凝结水系统厂用电耗电率从0.29%降到0.18%，按机组年发电量650000万KWh计算，年降低电耗约715万度。调整后凝结水系统压力滑压控制，除氧器水位更为平稳。通过调整再循环阀动作定值，在机组正常运行全时段再循环阀关闭，杜绝因再循环阀开启造成的电耗损失，避免了再循环阀频繁开启造成阀门内漏，再循环阀关闭后，解决了汽机房0米氨气的产生，消除了安全隐患。

6 凝结水系统进一步优化的方向

在凝结水系统优化研究和实践过程中，发现系统仍有一些优化空间，受现状条件和设备等因素影响，有待后续进一步深化研究：

6.1 凝结水泵设计压力为3.2MPa，机组在最大负荷时凝结水需求压力为2.4MPa，最大需求压力为2.6MPa。凝泵设计为五级泵，若取消一级叶轮，其最大出口压力可降至2.6MPa，且泵组运行工况将从次高效区转移至高效区，进一步提升运行经济性。后续需与泵厂专业技术人员深入沟通，论证该改造方案的技术可行性与现场实施条件。

6.2 给水泵密封水泵为凝结水系统特殊用户，用水量仅占总凝结水量的5%左右，但压力需求 $\geq 1.5\text{MPa}$ ，显

著高于其它用户，是制约凝结水系统压力继续降低的核心因素。后续可考虑再增设一台密封水泵，独立保障给水泵密封水的可靠性，从而在机组低负荷工况下继续降低凝结水压力，实现凝泵电耗的进一步下降。

结束语

通过对某660MW火力发电厂汽轮机凝结水系统的全面分析与优化实践，实现了厂用电的大幅降低，年节约厂用电约715万度，显著提升了机组运行经济性。通过对凝结水泵最小流量限值优化调整、搭建适配该机组特性的凝结水系统运行控制模型，不仅解决了系统能耗偏高、阀门频繁动作等问题，还消除了现场氨气泄漏的安全隐患，为同类型火力发电机组凝结水系统的节能优化与安全运行提供了宝贵的实践经验与技术指导。

参考文献

- [1]张正峰,孙文杰.660MW超超临界机组培训教材汽轮机设备及系统[M].北京:中国电力出版社,2021.
- [2]杨志平,徐钢.火电厂节能降耗前沿技术与发展趋势[J].中国电力,2023,56(12):1-8.
- [3]蒋启东.降低660MW超超临界机组凝结水泵变频电耗研究[J].设备管理与维修,2024(9):182-184.