

The influence of circulating water temperature and flow rate on the vacuum of the condenser

Xiaoxiao Chen

Jiaozuo Qianye Cement Co., Ltd, Jiaozuo, Henan, 454000, China

Abstract

This paper conducts a systematic analysis of the influence of circulating water temperature and flow rate on the vacuum of the condenser, elaborates on the key role of the circulating water system in the cooling process of the waste heat power generation system, and explores the impact of factors such as environmental temperature, water source quality, seasonal changes, and cooling tower efficiency on the circulating water temperature. The article conducts an in-depth analysis of the specific influence mechanism of changes in circulating water parameters on the vacuum of the condenser, including aspects such as variations in heat exchange efficiency and increases in exhaust pressure. Scientifically regulating the temperature of circulating water is the key to ensuring the stability of the condenser vacuum and enhancing the efficiency of the steam turbine.

Keywords

Circulating water temperature; Condenser; ambient temperature

循环水温度及流量对凝汽器真空的影响

陈肖肖

焦作市千业水泥有限责任公司, 中国·河南焦作 454000

摘要

本文围绕循环水温度及流量对凝汽器真空的影响进行了系统分析, 阐述了循环水系统在余热发电系统冷却过程中的关键作用, 从环境气温、水源水质、季节变化、冷却塔效率等因素探讨了其对循环水温度的影响, 文章深入分析了循环水参数变化对凝汽器真空的具体影响机制, 包括换热效率变化、排汽压力升高等方面, 科学调控循环水温度, 是保障凝汽器真空稳定、提升汽轮机效率的关键。

关键词

循环水温度; 凝汽器; 环境气温

1 引言

循环水系统在余热发电系统中起着关键的冷却作用, 其温度直接影响凝汽器的换热效率, 凝汽器是真空运行的重要设备, 循环水温度升高会降低其冷却能力, 导致排汽压力上升, 凝汽器真空度下降, 进而影响汽轮机的运行效率, 因此研究循环水温度及流量对凝汽器真空的影响, 以此优化运行参数、提高机组热效率, 同时也可以保障机组安全稳定运行。

2 循环水温度及流量的概述

循环水温度及流量是影响余热发电冷却系统性能的重要参数, 循环水主要用于凝汽器中对汽轮机排出的乏汽进行冷凝, 其温度、流量直接决定了换热效率, 循环水温度通常

受环境温度、水源条件、冷却方式影响, 温度升高会降低冷凝效果, 导致凝汽器真空下降; 而循环水流量则取决于泵组运行状态, 流量不足同样会限制换热, 影响凝汽器真空、汽轮机效率, 因此合理控制循环水温度, 是提高冷却系统运行效率、确保发电机组安全经济运行的措施^[1]。循环水系统中的温度与流量具有“动态耦合、相互制约”的显著特点, 温度的变化直接影响水的粘度, 而流量的大小则决定了系统的换热能力, 当流量增大时, 水在换热器中的停留时间减少, 有利于迅速带走热量, 从而降低系统温度; 反之, 流量过小则可能导致热量积聚, 引起温度升高, 甚至造成设备过热, 同时温度升高又会使水的黏度下降, 进一步影响流动状态, 形成反馈机制。

3 循环水温度及流量的影响因素

3.1 管网布置方式

循环水系统中的管网布置直接决定了水流的传输路径、停留时间, 从而影响系统的温度分布, 管道布置过长, 虽然

【作者简介】陈肖肖(1983-), 男, 中国河南焦作人, 本科, 助理工程师, 从事余热发电发电量提高研究。

会导致水在管路中的停留时间延长,从而可能增加温度损失,但在某些冷却系统中,这种温度衰减有助于提升降温效果,例如,在冷却塔中,适当的温度衰减可增强热交换效果,使水流在流经冷却设备时能够带走更多的热量。然而,对于需要精确控制水温的真空系统,温度衰减过多可能会导致水温过低,影响真空性能,特别是在涉及蒸馏等工艺的应用中,过冷的循环水可能导致冷凝过度,进而影响系统的真空状态,因此合理的管网布置应确保温度降幅在可接受的范围内,以满足降温、真空控制的双重需求,通过减少不必要的长管段、优化管径设计,可以平衡温度传递效率。在环境温度为30℃条件下,循环水在直径200 mm、长度200 m的管道中输送,温度衰减可达1.5℃~2.0℃;而若增加10个以上90°弯头,附加的能耗损失会使温差进一步上升0.3℃~0.5℃。此外,不合理的管径匹配也会导致温度不均,例如在某化工厂冷却水管网中,由于主管采用DN300而支管过多使用DN80,结果导致末端设备水温偏高2℃以上,直接影响了换热效率,循环水系统的流量均衡性很大程度上取决于管网布置,如果支路过长或局部阻力过大,极易造成流量分配不均。在一座电厂的循环水系统中,若管路布置不合理,主干管流量可达设计值的110%,而末端支路却仅有70%~80%,导致冷却塔效率下降超过15%,另有实验数据显示,在同样的水泵扬程下,管道分支长度相差100 m时,流量差异可达到20%以上,通过采用环状管网结构,可以将各支路流量差控制在±5%以内,显著改善流量分布,保证各设备均能获得设计需求的水量,维持系统运行的高效稳定。

3.2 水源水质

水源水质是影响循环水系统运行效果的关键因素之一,尤其在以江河、湖泊或海水作为冷却水源的电厂中更为突出,水质中含有的悬浮物、溶解盐类、生物物质、腐蚀性成分,会引发设备结垢、腐蚀、生物附着等问题,这些沉积物在凝汽器换热管内壁形成隔热层,严重降低传热效率,导致凝汽器冷却效果下降,从而影响真空度的稳定性^[1]。水质不良还会影响循环泵、冷却塔等设备的运行可靠性,增加维护成本,此外不同水源的水质差异也决定了系统运行方式的差别,例如,使用海水作为冷却介质时,必须考虑其高盐度,需采用耐腐蚀材质;而河流则更容易受到上游污染源的影响,如雨季泥沙含量升高等,因此,运行管理中应定期检测水源水质,并配套水处理系统,如加药除垢、杀菌灭藻等,以保障循环水系统长周期、稳定运行,从而维持凝汽器良好的真空状态。

3.3 季节变化

季节变化是影响循环水温度的重要自然因素,特别是在气候差异明显的地区,对冷却系统的运行性能产生显著影响,夏季气温普遍较高,冷却塔的散热能力下降,导致循环水冷却效果减弱,回水温度升高,从而降低凝汽器的换热效率,造成真空度下降,此外夏季因用电负荷大,机组出力增

加,导致循环水流量需求上升,系统运行压力也随之增大,稍有不当调整便可能引发冷端系统效率波动,影响整机运行安全^[4]。相较之下,冬季则因环境温度较低,有利于冷却水的降温,提高凝汽器的换热效率,有助于维持较高的真空度,然而过低的温度也可能带来冰冻风险,特别是在室外裸露管道,水结冰会堵塞管道、损伤设备,甚至引发停机事故,同时冬季用电负荷降低,机组出力减少,循环水流量随之下降,如调节不及时,也可能因流量不足造成换热面积利用率下降,为了应对季节变化带来的影响,电厂需根据不同季节合理调整循环水系统运行参数,加强巡检与维护工作,确保凝汽器真空度始终处于稳定运行状态。

3.4 冷却塔效率

冷却塔效率是影响循环水温度的重要内部因素,其运行状况直接决定了循环水的冷却能力,冷却塔的主要作用是将吸收了汽轮机排汽热量的高温循环水,通过蒸发散热的方式降温后重新送回凝汽器进行换热,如果冷却塔效率降低,如风机运行不良、填料堵塞等问题出现,都会导致循环水降温不足,回水温度升高,影响凝汽器的换热效果,进而引起凝汽器真空度下降,影响汽轮机的输出效率。此外,冷却塔效率还会受到环境条件,如气温、湿度等外部因素的影响,例如,在高温高湿的天气条件下,冷却塔的蒸发能力减弱,导致循环水降温效果不佳,尤其在夏季负荷高峰时更加明显;而冬季虽然冷却效率提高,但若冷却塔控制不当,水温过低也可能引发结冰现象,影响系统安全,因此,在运行管理中,需定期检查冷却塔设备状况,优化风机启停逻辑、清理填料、调整配水系统,结合环境条件动态调控运行模式,以提升冷却效率,稳定循环水温度,从而保障凝汽器良好的真空度。

4 循环水温度及流量对凝汽器真空的影响分析

4.1 换热效率变化

凝汽器作为汽轮机的重要组成部分,其主要作用是将排出的乏汽通过冷却水冷凝成水,形成低压区域以维持真空状态,换热效率高直接导致乏汽冷凝速度,当循环水温度升高时,其与乏汽之间的温差减小,换热驱动力降低,冷凝速率变慢,导致凝汽器内部压力上升,真空度下降,进而影响汽轮机的做功效率,相反,当循环水温度较低,换热温差较大,冷凝效果显著增强,真空度提升,有利于提升汽轮机输出功率。循环水流量同样是影响换热效率的重要因素,流量过小时,单位时间内参与换热的冷却水量不足,无法及时带走足够的热量,导致凝汽器内乏汽冷凝不完全,背压升高,真空恶化;而流量充足则可增强换热管内水流速度,减少温差损失,提升热交换速率,维持较低的冷凝温度,此外水流分布不均、局部水垢堵塞等问题也会引起换热不均,降低整体换热效率,因此在实际运行中,需通过优化循环水系统的温度控制,保持稳定的换热环境,以确保凝汽器真空的持续

可靠,从而保障整个发电机组运行的安全性。

4.2 排汽压力升高

根据凝汽器的基本工作原理,通过循环水对汽轮机排出的乏汽进行冷却,使其迅速冷凝成水,维持凝汽器内部的低压环境(即真空),从而为汽轮机提供较大的膨胀空间,提高其热力循环效率,然而当循环水温度升高时,冷却介质与乏汽之间的温差减小,冷凝速度减慢,凝汽器内部的热量无法及时释放,导致乏汽部分滞留在凝汽器中,气体聚集引发内部压力升高,表现为排汽压力上升,这种现象直接降低了凝汽器的真空度,使汽轮机的压降减小,影响蒸汽膨胀做功,进而造成机组效率下降。还可能带来更严重的连锁反应,如导致轴承温度升高、振动加剧等机械问题,为了维持系统运行的稳定性,操作人员可能不得不通过降低负荷来减少排汽量,从而牺牲发电能力,因此在运行管理中应高度重视排汽压力的变化趋势,及时调整循环水系统的温度,优化冷却塔运行、加强水质管理,确保凝汽器持续维持在良好真空状态,从而保障汽轮机高效、安全运行。

4.3 真空度降低

在凝汽器内,保持较高的真空度(即较低的排汽压力)是提高汽轮机效率的关键条件,当循环水温度升高时,其与排汽之间的温差减小,冷凝驱动力降低,导致乏汽冷凝速度减慢,使凝汽器内残余蒸汽增多,内部压力上升,真空度随之下降;同样地,若循环水流量不足,即使水温较低,也无法提供足够的冷却能力,导致换热效率下降,凝汽效果减弱,从而形成真空度降低的现象,这不仅削弱了蒸汽在汽轮机内的膨胀能力,也意味着更多的热能未被有效利用,增加了单位电量的能耗。真空度的降低还可能引发一系列连锁反应,对机组的稳定性构成威胁,凝汽器内真空变差会迫使汽轮机在较高的排汽压力下运行,从而降低其出力效率,导致发电功率下降,甚至引起机组负荷波动;真空恶化会使部分冷凝水闪蒸,形成更多不可凝气体,进一步削弱凝汽器的换热性能,形成恶性循环,长期运行在低真空状态下还会加剧汽轮机轴承温升、振动、磨损,影响设备寿命,为此必须加强对循环水系统的动态调控,确保水温适中、流量稳定;同时配合冷却塔、真空抽气装置等系统的协同运行,有效控制凝汽器真空度,保障整个热力系统的高效、可靠运行。

4.4 蒸汽冷凝不完全

凝汽器的核心功能是将汽轮机排出的低压乏汽迅速冷

却,冷凝成水,从而维持一个较低的排汽压力(即高真空状态),以确保汽轮机具有足够的膨胀空间,提高做功效率,当循环水温度过高时,水与乏汽之间的温差减小,冷凝驱动力下降,乏汽中的部分蒸汽无法完全凝结,在凝汽器内积聚,形成残余水蒸气,导致凝汽器内的压力升高,真空度随之恶化,这会造成汽轮机排汽回压上升,降低膨胀比,直接影响汽轮机组的出力,除了水温升高带来的问题,循环水流量不足同样会导致蒸汽冷凝不完全,当冷却水流量偏低时,单位时间内进入凝汽器的水量不足,无法将乏汽所释放的热量及时带走,致使凝汽器内部换热速率下降,乏汽冷凝滞后,进而使凝汽器真空度持续下降。尤其在机组高负荷运行时,蒸汽流量增加,对凝汽器冷却能力的需求加大,此时若流量调节不及时,更易引发蒸汽冷凝不足的问题,长期运行在这种状态下,不仅影响汽轮机运行效率,还可能导致冷凝水温度升高,系统回热能力下降,甚至诱发水击、振动等设备安全风险,因此,在运行中必须保持循环水温度适中、流量充足,通过优化冷却塔运行、加强循环水泵管理、合理调整系统运行参数等方式,确保蒸汽能够被充分冷凝,从而维持凝汽器良好的真空状态。

5 结语

循环水温度及流量对凝汽器真空具有显著影响,是火力发电厂冷端系统运行中必须重点关注的因素,水温升高或流量不足均会导致换热效率下降、蒸汽冷凝不完全、排汽压力上升,进而影响汽轮机的热效率,因此在实际运行过程中,应加强对循环水系统的监测,合理优化冷却塔运行、调节水流分配,提升换热系统的综合效率,同时结合环境变化,制定科学的运行策略,实现冷端系统的精细化管理,从而保障凝汽器真空稳定、汽轮机高效运行,为整个发电系统的安全、节能、环保提供有力支撑。

参考文献

- [1] 赵海波.循环水温度对机组经济运行的影响[J].铁法科技, 2021(S01):000.
- [2] 姚润贤,薛利峰,张立志.汽轮机凝汽器两侧循环水出口温度偏差大优化探讨[J].中国设备工程, 2020(20):3.
- [3] 吕杰帅.核电厂凝汽器循环水流量优化分析[J].科技智囊, 2020(8):6.
- [4] 朱志龙.弱酸性循环水对缓解凝汽器结垢效能评估[J].电工技术, 2024(17):212-215.