

火力发电厂冷却系统节能技术探讨

王圣凯 陈旭峰 亓继伟 孙贵楠
华能平凉发电有限责任公司 甘肃 平凉 744000

摘要：随着能源需求的增长和环保要求的提高，火力发电厂冷却系统的节能降耗成为关键。本文探讨了冷却系统的基本构成与功能，分析了传统冷却系统存在的问题，如水资源浪费、能耗高、维护成本高及环境影响大。进而提出优化冷却塔设计、应用干式冷却技术、优化设计循环水系统及智能化管理等节能技术。通过案例分析，验证了这些技术在节水、节能、环保方面的显著效果，为火力发电厂实现绿色可持续发展提供了有力支持。

关键词：火力发电厂；冷却系统；节能技术

引言：火力发电作为重要的能源供应方式，其冷却系统能耗及水资源消耗问题日益凸显。随着节能减排和绿色能源发展的需求，探索冷却系统的节能技术具有重要意义。本文旨在分析火力发电厂冷却系统现状，探讨节能技术的应用与改进，以实现资源高效利用和环境友好。通过深入研究与实践案例，为火力发电厂的可持续发展提供节能降耗的技术路径和策略支持。

1 火力发电厂冷却系统概述

1.1 冷却系统的基本构成

(1) 取水装置：这是冷却系统的起点，负责从水源中提取冷却所需的水。在火电厂中，取水装置通常设计得能够高效地提取大量水资源，以满足冷却系统的需求。(2) 水泵：水泵是冷却系统中输送水流的关键设备。它通过提供动力，将水从取水装置输送到冷却塔或冷凝器，以及在整个循环过程中保持水流的稳定。(3) 冷却塔或冷凝器：这是冷却系统的核心部件。冷却塔利用空气与水之间的热交换来降低水的温度，而冷凝器则负责将汽轮机排出的蒸汽冷凝成水。这两种设备都能有效地移除发电过程中产生的热量。(4) 输送管道及控制系统：输送管道负责将冷却水输送到各个需要冷却的设备，并确保水流的畅通无阻。控制系统则负责监测冷却系统的运行状态，根据需要调整水泵的转速、冷却塔的风扇速度等参数，以保持系统的稳定运行。

1.2 冷却系统的主要功能

(1) 对汽轮机排出的蒸汽进行冷凝：这是冷却系统的核心任务之一。蒸汽在汽轮机中做功后，需要被冷凝成水才能重新进入热力循环。冷却系统通过提供足够的冷却能力，确保蒸汽能够高效、快速地冷凝。(2) 冷却其他关键设备：除了汽轮机排汽外，冷却系统还需要对其他关键设备如发电机、润滑油系统等进行冷却。这些设备在运行过程中会产生大量的热量，如果不及时移

除，可能会导致设备过热、损坏甚至停机。

1.3 冷却系统的分类

(1) 湿冷系统：这是传统且广泛应用的冷却方式。它利用水作为冷却介质，在冷却塔中与空气进行热交换来降低水的温度。湿冷系统具有冷却效率高、技术成熟等优点，但水资源消耗较大。(2) 空冷系统：空冷系统则以空气作为冷却介质，通过机械通风或自然通风的方式将热量带走。根据具体实现方式的不同，空冷系统又可以分为机械通风直接空冷系统、表面式凝汽器间接空冷系统和自然通风直接空冷系统等。空冷系统具有节水、环保等优点，但初期投资较高，且受环境因素影响较大^[1]。

2 火力发电厂冷却系统节能现状分析

2.1 传统冷却系统存在的问题

(1) 水资源浪费：传统冷却系统，特别是湿冷系统，需要消耗大量的水资源来冷却发电设备。这些水资源在冷却过程中往往会蒸发或排放到环境中，造成水资源的严重浪费。在干旱和水资源匮乏的地区，这一问题尤为突出，加剧了当地的水资源短缺问题。(2) 能耗高：冷却系统的运行需要大量的电能来驱动水泵、冷却塔风扇等设备。传统冷却系统在设计上往往存在能耗较高的问题，这不仅增加了发电厂的运营成本，也对环境造成了额外的负担。特别是在能源价格不断上涨的背景下，降低冷却系统的能耗成为了一个亟待解决的问题。(3) 维护成本高：传统冷却系统的设备复杂，维护难度大。冷却塔、管道、水泵等设备需要定期进行检查、清洗和维修，这些工作不仅耗时耗力，也增加了发电厂的维护成本。(4) 环境影响大：传统冷却系统在运行过程中会对环境造成较大的影响。冷却水的排放可能会对水生生态系统造成破坏，而冷却塔的运行则可能会产生噪音污染和热污染。这些环境问题不仅影响了发电厂周围

的居民生活,也可能对生态环境造成长远的负面影响。

2.2 现有节能技术的评估

(1) 提高蒸汽参数、二次再热等机组效率提升技术:虽然这些技术主要关注于提高机组的整体效率,但间接上也对冷却系统产生了积极影响。机组效率的提升意味着单位发电量所需的冷却能量减少,从而降低了冷却系统的负荷和能耗。(2) 管道系统优化、外置蒸汽冷却器等技术:这些技术通过优化冷却水循环路径、减少能量损失和余热回收等方式,直接提高了冷却系统的效率。例如,外置蒸汽冷却器可以利用余热预热冷却水,从而减少冷却塔负荷。(3) 空冷系统的应用及其节水效果:空冷系统以其显著的节水效果在火力发电领域得到了广泛应用。与湿冷系统相比,空冷系统不依赖大量的水资源进行冷却,而是利用空气作为冷却介质。这不仅大大减少了水资源的消耗,还降低了冷却水的处理和排放成本。然而,空冷系统也存在一些局限性,如受环境因素影响大、初期投资较高等。因此,在选择和应用空冷系统时,需要综合考虑火电厂的具体条件和需求。

3 火力发电厂冷却系统节能技术探讨

3.1 优化冷却塔设计

冷却塔是火力发电厂冷却系统中的关键设备,其设计优化对于提高冷却效率、减少水耗和能耗至关重要。

(1) 提高冷却效率:冷却塔的设计应充分考虑其冷却能力,通过合理的结构设计和参数设置,提高冷却效率。例如,采用双曲面塔形设计,可以在同等冷却能力下使用最少的材料,同时利用文丘里效应增加风量,提高冷却效果。此外,优化淋水面积和进气口面积的比例,也有助于提升冷却效率。(2) 减少水耗和能耗:为了减少水耗,可以采用节水型冷却塔,通过改进淋水装置和填料结构,减少水的蒸发损失。同时,优化循环水泵的运行方式,如采用变频调速技术,根据实际需要调整水泵转速,避免不必要的能耗^[2]。(3) 采用新型冷却材料和结构:随着材料科学的发展,新型冷却材料和结构的应用成为可能。例如,使用高导热系数的材料制作冷却塔填料,可以提高热交换效率。此外,还可以探索采用新型的热交换方式,如热泵技术,进一步减少能耗。

3.2 干式冷却技术的应用

干式冷却技术是一种基于表面式换热技术的工业冷却装置,通过翅片管束组成的换热器实现汽轮机排汽或凝结水的空气冷却。该技术具有显著的水资源节约优势,特别适用于水资源稀缺地区。(1) 替代传统湿式冷却塔:干式冷却系统可以替代传统的湿式冷却塔,减少水的蒸发损失,从而节约水资源。在中国北方缺水地

区,已有大量燃煤电厂采用干式冷却技术,节水率达85%以上。(2) 减少水耗:干式冷却系统的核心组件包含散热盘管、空冷塔及循环水泵。通过空气与管内介质的非接触式换热,实现冷却功能,无需大量用水。这不仅可以减少直接用水,还可以避免由于蒸发和排污造成的水资源浪费。(3) 技术挑战与解决方案:干式冷却系统在实际应用中面临一些技术挑战,如环境敏感性、经济性平衡和冬季防冻等。为了提升系统性能,可以采取一系列措施。例如,在高温环境下配置喷雾预冷装置提升效率;通过技术经济分析确定散热器面积、冷却塔高度等参数;设置冬季防冻储水箱及移动冲洗装置,解决低温工况下系统冻结问题。

3.3 循环水系统的优化设计

循环水系统是火力发电厂冷却系统中的另一个重要组成部分。通过优化设计循环水系统,可以提高能源利用效率,减少水资源浪费,并降低环境影响。(1) 闭式循环冷却系统的应用与优势:闭式循环冷却系统通过冷却塔对热水进行降温后循环使用,具有显著的水资源节约和能耗降低优势。该系统还可以减少水的蒸发和排污损失,降低对环境的影响。(2) 循环水质管理与改善:循环水质的好坏直接影响冷却系统的运行效率和设备寿命。因此,应加强循环水质管理,定期检测水质指标,如pH值、浊度、含盐量等。同时,采取必要的净化措施,如添加化学药剂、过滤等,改善循环水质^[3]。(3) 减少循环水过程中的能耗与损失:为了减少循环水过程中的能耗与损失,可以采取一系列措施。例如,优化循环水泵的运行方式,采用变频调速技术或动叶可调泵等节能设备;加强管道和阀门的维护管理,减少漏水和阻力损失;探索采用新型的热交换方式和材料,提高热交换效率。

3.4 冷却水系统的智能化管理

随着物联网、大数据等技术发展,冷却水系统智能化管理得以实现,可达能耗监测与优化、预测性维护与故障诊断及系统运行效率提升与节能效果评估。(1) 能耗监测与优化:借助物联网、大数据技术,安装传感器和智能仪表,实时监测水温、流量、压力等参数,数据上传云平台进行分析。通过先进算法与模型,精准监测和优化能耗,比如经数据分析找到能耗异常点,及时调整设备参数或采取节能措施来降低能耗。(2) 预测性维护与故障诊断:智能化管理系统利用大数据和机器学习技术,对系统运行状态做预测性分析和故障诊断。挖掘分析历史数据,建立设备故障预警模型,提前发现隐患并采取预防措施,减少维修成本,提高系统可靠性与

稳定性^[4]。(3)运行效率提升与节能效果评估:系统实时监测运行效率,依据实际数据调整控制策略,优化性能,例如根据环境温度、负荷变化自动调节循环水泵转速和冷却塔通风量,维持最佳状态。同时,对比改造前后能耗数据,量化评估节能效果,为后续节能改造和优化提供依据。

4 案例分析

4.1 空冷系统在火电厂的应用实例

4.1.1 节能效果评估

某300MW火电厂在改造中采用直接空冷系统替代传统湿冷系统,通过实际运行数据对比显示,其节水效果显著:年耗水量从改造前的180万 m^3 降至35万 m^3 ,节水率达80.6%,尤其适用于西北缺水地区。在能耗方面,空冷系统的风机功率虽增加约2.5%的厂用电率,但因省去循环水泵的高能耗,综合供电煤耗下降1.2g/kWh,年节约标准煤约4000吨。此外,该系统减少了冷却水排放带来的生态影响,环境效益同步提升。

4.1.2 技术挑战与应对措施

该项目运行中面临两大核心挑战:一是夏季高温时段空冷散热器散热效率下降,导致汽轮机背压升高,影响机组出力;二是冬季管束易结霜,需频繁启停蒸汽伴热系统,增加能耗。针对上述问题,技术团队采取了三项措施:优化风机群控逻辑,根据环境温度动态调整风机转速,使夏季背压控制在8kPa以内;在散热器表面加装防霜涂层,降低结霜概率;采用“分区加热+温度梯度控制”模式,冬季伴热能耗降低30%,保障了机组全年稳定运行。

4.2 循环水系统优化设计的实践案例

4.2.1 项目背景与实施过程

某沿海2×600MW火电厂原循环水系统采用开式直流冷却,因海水水质复杂,凝汽器铜管年腐蚀速率达0.3mm,需频繁停机检修。2023年实施优化改造,将系统

升级为“闭式循环+海水冷却塔”组合模式:首先更换耐腐蚀钛管凝汽器,降低海水直接接触对设备的侵蚀;其次新增高效板式换热器,利用海水余热进行梯级利用;同时引入AI智能控制系统,实时调节循环水泵流量与冷却塔风机频率。项目历时6个月完成,总投资约1.2亿元。

4.2.2 节能效果与经济效益分析

改造后系统节能效益显著:循环水泵单耗从0.12kWh/ m^3 降至0.08kWh/ m^3 ,年节约电约1800万kWh;凝汽器清洁系数维持在0.92以上,较改造前提升0.15,汽轮机热效率提高1.2%。经济效益方面,年节约电费约1080万元,设备检修周期从1年延长至3年,年均减少维护成本600万元;同时,海水余热回收系统为厂区供暖提供热源,年节约天然气消耗20万 m^3 ,综合年收益约1800万元,预计7年可收回全部投资。

结束语

综上所述,火力发电厂冷却系统的节能技术革新是推动能源高效利用和环境可持续发展的关键。通过优化冷却塔设计、推广干式冷却技术、改进循环水系统以及实施智能化管理,显著提升了冷却系统的节能降耗效果。未来,随着技术的不断进步和创新,火力发电厂冷却系统的节能潜力将进一步挖掘,为电力行业绿色发展贡献更多智慧和力量。我们期待更多的技术突破和应用实践,共筑绿色能源的美好未来。

参考文献

- [1]丁业,吕战圣,苏敏.火力发电厂循环冷却水处理系统的优化选择[J].广州化工,2021,(02):23-24.
- [2]刁敏师,汪小峰.火力发电厂水系统深度优化技术的实践[J].上海节能,2022,(08):95-96.
- [3]祁永富.浅谈火力发电厂能耗管理及节能技术应用[J].财经界,2020,(10):108-109.
- [4]武鑫.火力发电厂热能动力系统优化与节能改造研究[J].自动化应用,2024,(07):63-64.