

汽轮机主机背压优化与循环水辅机系统节能运行协同控制

孟晓辉

内蒙古大唐国际锡林浩特发电有限责任公司 内蒙古 锡林浩特 026000

摘要：随着能源问题日益突出，电力行业对节能降耗的需求愈发迫切。本文聚焦于汽轮机主机级背压优化与循环水辅机系统节能运行的协同控制。首先对汽轮机主机级背压和循环水辅机系统进行概述，接着详细阐述汽轮机主机级背压优化方法，包括机组静压值实验法等多种方式。同时，探讨循环水辅机系统节能运行策略，涵盖冬季、夏季运行设计优化及多项节能技术。通过研究两者协同控制，旨在提升汽轮机运行效率，降低能源消耗，为电力行业节能减排提供有效参考。

关键词：汽轮机；主机背压优化；循环水辅机系统；节能运行；协同控制

引言：在电力行业持续发展进程中，节能减排与提升运行效率成为关键议题。汽轮机作为发电核心设备，其主机级背压状况对机组性能影响重大。同时，循环水辅机系统作为保障汽轮机正常运行的重要辅助部分，其运行方式也直接关系到能源利用效率。然而，当前两者在实际运行中，缺乏有效的协同控制机制，导致能源浪费现象时有发生。因此，深入探究汽轮机主机级背压优化与循环水辅机系统节能运行的协同控制策略，具有重要的现实意义，有助于推动电力行业向绿色、高效方向发展。

1 汽轮机主机背压与循环水辅机系统概述

(1) 汽轮机主机级背压是汽轮机运行中的关键参数，指蒸汽在汽轮机做完功后，排汽端所承受的压力。这一压力值直接影响汽轮机的热效率与出力。当背压过高时，蒸汽无法充分膨胀，导致汽轮机内蒸汽的可用焓减小，进而降低机组出力并增加热耗；而背压过低，虽能提升出力，但可能引发轴向推力增大、推力瓦烧坏等安全隐患。因此，合理控制主机级背压是保障汽轮机高效、安全运行的核心。(2) 循环水辅机系统作为汽轮机的配套系统，主要承担冷却任务。它通过循环水泵将冷却水输送至凝汽器，吸收汽轮机排汽的热量并使其凝结成水，同时向其他辅机设备提供冷却水。该系统的运行效率直接影响汽轮机的背压水平。例如，循环水流量增加可降低背压，但同时会增加循环水泵的耗功；若流量不足，则可能导致背压升高，影响机组经济性。因此，循环水辅机系统的优化需平衡冷却效果与能耗。(3) 汽轮机主机级背压与循环水辅机系统存在紧密的协同关系。背压的优化需结合循环水系统的运行状态，通过调整循环水泵的匹配方式、运行台数及变频控制等手段，实现背压与循环水流量的最佳匹配。同时，循环水系统的设计（如冷却塔类型、管路布局）也会影响背压的控制效果^[1]。

2 汽轮机主机级背压优化方法

2.1 机组静压值实验法

机组静压值实验法是汽轮机主机级背压优化的重要手段之一，其核心在于通过精确测量与调节机组静压值，结合循环水泵耗能数据，确定汽轮机在不同负荷条件下的最优背压值。实验过程中，首先需在机组稳定运行状态下，通过布置在凝汽器、循环水管道等关键位置的静压测量装置，实时采集背压数据。这些测量装置需具备高精度和稳定性，以确保数据的可靠性。随后，结合循环水泵的耗能数据，分析不同背压值下机组的净出力变化。具体而言，通过调节循环水泵的运行方式，如改变水泵转速或启停台数，模拟不同循环水流量对背压的影响。在此过程中，详细记录各工况下机组的出力、循环水泵耗功等关键参数，构建背压与机组性能的关系曲线。最终，依据实验数据，确定机组在当前负荷和循环水温度条件下的最优背压值。这一值应使机组净出力达到最大，同时循环水泵耗功处于合理范围，从而实现汽轮机运行的经济性与高效性。

2.2 最大净出力法

最大净出力法是汽轮机主机级背压优化中极具实用价值的方法，其目标在于找到使汽轮机净出力达到最大的背压设定值。在汽轮机运行过程中，背压的变化会显著影响机组的出力与能耗。当背压改变时，汽轮机做功能力随之改变，同时循环水辅机系统（如循环水泵）的能耗也会相应变动。最大净出力法正是基于这一特性展开优化。实施时，需在汽轮机不同负荷工况下，通过调整循环水系统的运行参数（如循环水流量、温度等），改变汽轮机主机级背压。在此过程中，借助高精度的测量仪器，实时记录汽轮机的出力以及循环水辅机系统的耗功数据。随后，对记录的数据进行深入分析，绘制出背

压与汽轮机净出力（汽轮机出力减去循环水辅机系统耗功）的关系曲线。通过该曲线，能够清晰确定在不同负荷条件下，使汽轮机净出力达到最大的最优背压值。采用最大净出力法进行背压优化，可有效提升汽轮机运行的经济性，使机组在保证安全稳定运行的前提下，最大程度地输出有用功，降低发电成本，为电力企业的节能增效提供有力支持。

2.3 煤电经济值最优法

煤电经济值最优法是汽轮机主级背压优化中，从煤炭经济利用角度出发的重要方法，旨在实现发电过程中煤炭消耗与发电效益的最佳平衡。在煤电生产中，汽轮机主级背压直接影响机组的热效率，进而影响煤炭的消耗量。背压不合理时，会导致汽轮机做功能力下降，相同发电量下需消耗更多煤炭，增加发电成本。煤电经济值最优法通过综合考虑煤炭价格、发电效率、背压变化等多方面因素，寻找最优背压值。实际操作时，先收集不同背压工况下汽轮机的运行数据，包括发电功率、热耗率等，同时结合当前煤炭市场价格，计算不同背压对应的单位发电量煤炭成本。通过建立数学模型，对这些数据进行拟合分析，得到背压与煤电经济值的函数关系。基于该函数关系，确定使煤电经济值达到最大的最优背压。在此背压下运行，汽轮机能够在保证发电量的同时，最大程度降低煤炭消耗，提高发电的经济性。

2.4 智能化控制技术

智能化控制技术为汽轮机主级背压优化带来了革新的解决方案，它借助先进的传感器、智能算法与自动化系统，实现对背压的精准、动态调控。在汽轮机运行现场，各类高精度传感器被广泛部署，它们能实时感知主级背压、循环水温度、流量以及机组负荷等关键参数，并将这些数据迅速、准确地传输至智能控制系统。智能控制系统内置的先进算法，如神经网络算法、模糊控制算法等，会对海量数据进行深度分析和处理。基于分析结果，系统能自动判断当前工况下最优的背压设定值，并快速调整循环水辅机系统的运行参数，如循环水泵的转速、阀门开度等，以实现背压的精准控制。与传统的控制方式相比，智能化控制技术具有响应速度快、控制精度高的显著优势。它能够根据机组负荷的实时变化，自动调整背压控制策略，确保汽轮机始终在最优背压下运行。这不仅提高了机组的运行效率，降低了能源消耗，还减少了人工干预，降低了操作人员的劳动强度。

2.5 回热加热器优化

回热加热器优化是汽轮机主级背压优化过程中的关键环节，对提升机组热效率、降低能耗起着重要作用。

回热加热器通过抽取汽轮机不同压力级的蒸汽，对给水进行加热，减少汽轮机排汽的冷源损失。然而，在实际运行中，回热加热器可能存在端差过大、疏水不畅等问题，影响其性能发挥，进而影响主级背压。优化回热加热器，首先要精准调整加热器的端差。端差过大会导致加热蒸汽的热量不能充分传递给给水，造成热量浪费。可通过优化加热器的结构，如改进传热管束的排列方式，增强流体的湍流程度，提高传热效率，从而降低端差。其次，要确保疏水系统畅通。疏水不畅会使加热器内积水，影响加热效果，还可能引发振动等安全问题。可对疏水阀进行定期检修和维护，保证其开度合适，同时优化疏水管道的设计，减少管道阻力^[2]。

3 循环水辅机系统节能运行策略

3.1 冬季运行设计优化

冬季环境温度较低，循环水辅机系统运行条件与其它季节差异明显，对其进行运行设计优化可有效实现节能。在循环水泵运行方面，冬季冷却水温度低，汽轮机排汽所需冷却量减少。此时可适当减少循环水泵运行台数，通过单台大功率泵或调整水泵组合方式，在满足凝汽器冷却需求的前提下，降低水泵总耗功。同时，利用变频技术调节水泵转速，根据实时背压和冷却需求精准控制流量，避免大流量运行造成的能量浪费。冷却塔的优化也不容忽视。冬季空气湿度低、密度大，可调整冷却塔风机的运行策略，例如降低风机转速或间歇启停，利用自然通风实现部分冷却功能，减少风机能耗。此外，加强冷却塔的维护，及时清理填料上的污垢和杂物，保证空气与水的充分接触，提高冷却效率。

3.2 夏季运行设计优化

夏季气温高，环境湿热，循环水辅机系统面临更大的冷却负荷，对其进行科学合理的运行设计优化，对节能降耗意义重大。在循环水泵运行上，夏季冷却水温度攀升，汽轮机排汽热量难以散发，此时需确保足够的循环水流量。可通过增加循环水泵运行台数，采用多台小功率泵并联运行的方式，相较于单台大功率泵，能更灵活地根据负荷变化调整流量，避免“大马拉小车”造成的能源浪费。同时，结合变频技术，依据实时背压和冷却需求精准调节水泵转速，实现流量的按需供给。冷却塔方面，夏季空气湿度大，通风效果受影响。可适当提高冷却塔风机转速，增强空气流动，提升冷却效率。还要注重冷却塔的补水管理，及时补充因蒸发损失的水量，维持合适的水位，保证冷却塔正常运行。

3.3 变频节能技术

变频节能技术在循环水辅机系统节能运行中发挥着

关键作用，能有效降低系统能耗，提升运行效率。在循环水泵应用中，传统水泵多采用定速运行，流量调节依靠阀门开度，这种方式会造成大量节流损失，增加能耗。而变频节能技术通过改变电机电源频率，调节水泵转速，实现流量的精准控制。当汽轮机负荷降低或冷却需求减少时，降低水泵转速，减少输出流量，避免不必要的能量消耗。据实际运行数据显示，采用变频调速后，循环水泵能耗可降低20%-40%。对于冷却塔风机，变频技术同样适用。夏季可根据环境温度和冷却需求，动态调整风机转速。温度较高、冷却任务重时，提高转速增强通风；温度较低时，降低转速减少能耗。这不仅降低了风机自身的耗电，还减少了因过度通风导致的循环水蒸发损失。变频节能技术使循环水辅机系统能根据实际工况灵活调整运行参数，实现了能源的高效利用，为电力企业的节能减排和成本控制提供了有力支持。

3.4 温差控制技术

温差控制技术是循环水辅机系统实现节能运行的重要手段，通过对关键温差的精准把控，优化系统运行状态，降低能源消耗。在循环水系统中，凝汽器进出口水温和排汽温度的温差是核心控制参数。当凝汽器进出口水温差过大时，意味着循环水带走的热量不足，可能导致汽轮机背压升高，影响机组效率；温差过小，则循环水泵可能做了过多无用功，造成能源浪费。利用温差控制技术，可实时监测这些温差数据，并将其反馈至控制系统。控制系统根据预设的合理温差范围，自动调整循环水泵的运行参数，如转速、流量等。若温差超出范围，系统会及时增大或减小循环水流量，使温差回归到最佳区间。同时，结合排汽温度的变化，进一步优化冷却塔风机的运行，确保冷却效果与能耗的平衡。通过温差控制技术，循环水辅机系统能够在满足汽轮机冷却需求的前提下，最大限度地减少能源消耗，提高系统的整

体运行经济性，为电力行业的节能降耗提供有力支撑。

3.5 余热利用技术

余热利用技术为循环水辅机系统节能运行开辟了新路径，通过回收和利用系统运行过程中产生的余热，可有效提升能源利用效率，降低整体能耗。在循环水辅机系统中，冷却塔排出的热空气以及循环水回水携带了大量余热。采用热泵技术，能将这些低品位余热转化为高品位热能。例如，水源热泵可从循环水回水中吸收热量，经过压缩升温后，为厂区的办公区域、生活区域等提供冬季采暖热源，减少了对传统锅炉等供热设备的依赖，降低了燃料消耗。同时，对于冷却塔排出的热空气，可设置空气-水换热器，将热空气中的热量传递给进入冷却塔的冷水，起到预热冷水的作用，减少了冷水进入凝汽器前的加热能耗。此外，余热还可用于海水淡化等工艺。利用循环水余热对海水进行预热，降低海水淡化装置的能耗^[3]。

结束语

汽轮机主级背压优化与循环水辅机系统节能运行协同控制意义重大。通过实施最大净出力法、煤电经济值最优法等方法优化背压，结合冬季、夏季运行设计优化、变频、温差控制及余热利用等节能技术，实现了系统的高效节能运行。这不仅降低了发电成本，提高了企业经济效益，还响应了国家节能减排号召，助力绿色可持续发展。

参考文献

- [1]付兆良.电厂汽轮机中辅机的优化方式[J].黑龙江科学,2021,11:233.
- [2]陈益利.论电厂汽轮机中辅机的优化方式及改进措施[J].科技与企业,2022,20:156.
- [3]张鹏飞,呼斯楞.电厂汽轮机辅机运行优化和改进的分析[J].科技创新与应用,2021,05:67.