火电厂 300MW 机组真空严密性对汽轮机经济性影响

谢忠富
国家电投集团贵州金元黔西中水发电有限公司　贵州省毕节市　551500

摘　要：文章聚焦火电厂 300MW 机组，深入探究真空严密性对汽轮机经济性的影响。研究发现，真空严密性下降会显著提高汽轮机热耗率、汽耗率，致使发电煤耗增加，降低机组运行经济性，还对运行稳定性与安全性产生间接威胁。为改善这一状况，可通过设备维护检修、运行优化调整及应用氦质谱检漏法等先进查漏技术，有效提升真空严密性。本文研究成果为保障火电厂 300MW 机组高效经济运行提供了理论与实践指导，对降低发电成本、提高电厂经济效益具有重要意义。

关键词：300MW 机组；真空严密性；汽轮机；经济性

在火力发电领域，300MW 机组是保障电力供应的关键设备，其运行经济性直接关系到电厂效益。汽轮机作为机组核心，真空系统严密性对其运行效率起着决定性作用。良好的真空严密性能充分发挥蒸汽热能，提升机组经济性；反之，则会导致能耗增加、效率降低。因此，深入研究 300MW 机组真空严密性对汽轮机经济性的影响，对优化机组运行、降低成本意义重大。

1. 真空严密性对汽轮机经济性的影响

1.1 对热耗率的影响

真空严密性下降会如同多米诺骨牌般，对汽轮机热耗率产生显著且连锁的影响。当真空系统出现泄漏，空气等不凝结气体便会悄无声息地侵入凝汽器，成为破坏系统稳定运行的 “不速之客”。以某 300MW 机组为例，在正常运行工况下，凝汽器真空处于良好状态，宛如一个高效运转的 “能量转换器”，蒸汽在其中能够与循环水充分进行热交换，快速且充分地冷凝，此时机组的热耗率也稳定维持在较低水平，确保了能量的高效利用。

然而，一旦真空严密性变差，空气便会在凝汽器内逐渐积聚，这些不凝结气体就像无形的屏障，占据了宝贵的换热空间，极大地阻碍了蒸汽与循环水之间的热量传递过程。原本顺畅的热交换通道被堵塞，蒸汽无法充分冷凝，大量蒸汽的热能无法有效转化，致使排汽压力不断升高。从热力学原理来看，排汽压力的升高会直接导致汽轮机的理想焓降减小，这意味着蒸汽在汽轮机内做功的能力下降。为了维持相同的发电量，机组就不得不加大蒸汽的输入量，消耗更多的蒸汽来弥补能量转化的不足，最终使得热耗率大幅增加。通过对该机组实际运行数据进行细致的统计分析发现，当真空严密性从良好状态（真空下降速率小于 0.4kPa/min）恶化到真空下降速率为 1kPa/min 时，热耗率竟然上升了约 3%。这一数据直观且有力地证明，真空严密性对汽轮机热耗率有着举足轻重的影响，只有保证良好的真空严密性，才能有效降低热耗率，实现汽轮机的高效经济运行 。

1.2 对汽耗率的影响

真空严密性如同精密仪器的关键阀门，一旦出现问题，汽轮机的汽耗率便会随之产生连锁反应。当真空系统严密性不佳时，就像堤坝出现裂缝，空气等不凝结气体渗入，致使凝汽器内真空下降。这种变化会深刻影响蒸汽在汽轮机内的膨胀做功过程，原本顺畅的蒸汽流动路径因真空环境被破坏而受阻 [1]。

在理想状态下，蒸汽进入汽轮机后，能够沿着既定的热力过程高效膨胀，将蕴含的热能最大限度地转化为机械能。然而，当真空下降，蒸汽在汽轮机内的膨胀空间和过程都发生改变，无法充分完成热能到机械能的转化，导致汽轮机的内效率如同泄了气的皮球般降低。为了保证机组输出功率稳定，满足发电需求，就如同在动力不足时加大油门一样，汽轮机必须增加进汽量。以某 300MW 机组为例，在真空严密性下降后，运行人员为维持机组负荷稳定，不得不将调节汽门开大，让更多的蒸汽涌入汽轮机。通过对该机组运行数据进行深入剖析，当真空严密性下降，真空度降低 1kPa 时，机组的汽耗率显著增加了约 1.5%。这一数据清晰地表明，真空严密性与汽轮机汽耗率紧密相连，良好的真空严密性就像是节能的开关，能够有效降低汽耗率，减少蒸汽的不必要

消耗，从而切实提高机组的整体经济性，为电厂节省大量的运行成本。

1.3 对发电煤耗的影响

发电煤耗作为衡量火力发电机组经济性的核心标尺，如同精准的天平，任何细微的变化都能直观反映出机组运行的能效水平，而真空严密性则是影响这一关键指标的重要砝码。当真空系统严密性出现问题，就如同多米诺骨牌被推倒，引发一系列连锁反应，直接作用于发电煤耗[2]。

前文已详细阐述，真空严密性下降会致使汽轮机热耗率显著攀升、汽耗率大幅增加。热耗率的升高意味着机组在生产单位电能时，需要消耗更多的蒸汽热能；汽耗率的增加则表明，为达到相同的发电功率，必须投入更多的蒸汽量。而在火力发电的能量转化链条中，蒸汽的产生依赖于煤炭的燃烧，蒸汽消耗的增加必然导致煤炭消耗的上升，进而使得发电煤耗呈阶梯式增长。以某 300MW 机组为例，当真空严密性恶化，热耗率上升 3%，汽耗率增加 1.5% 时，经严谨计算，发电煤耗增加了约 4g/(kW・h)。这看似微小的数值，在机组年运行小时数动辄数千小时的庞大基数下，却蕴含着惊人的能源消耗。每增加 1g/(kW・h) 的发电煤耗，一台 300MW 机组每年将多消耗数百吨煤炭，而 4g/(kW・h) 的增长，意味着每年将有数千吨煤炭被无端浪费，不仅造成资源的巨大损失，还使得发电成本直线上升，大幅压缩电厂的利润空间。这组数据深刻揭示了真空严密性与发电煤耗之间的紧密关联，凸显出保持良好真空严密性在降低发电煤耗、提升电厂经济效益方面的关键作用。只有确保真空系统具备良好的严密性，才能有效控制热耗率和汽耗率，进而降低发电煤耗，实现火力发电的高效节能与可持续发展，让每一粒煤炭都能物尽其用，为电厂创造更大的经济价值。

2. 提高真空严密性的方法

2.1 设备维护与检修

真空系统设备如同精密运转的钟表零件，任何细微的磨损与缺陷都可能打破其严密性的平衡，而定期且全面的检查维护，正是确保系统高效运行的 “保养秘籍”。在整个真空系统中，管道作为气体传输的 “脉络”，其完整性至关重要。管道焊缝是最易出现隐患的部位，微小的裂纹、砂眼就像潜伏的 “病灶”，随时可能成为空气渗漏的突破口。某电厂在实践中引入先进的无损检测技术，利用超声波、射线等检测手段，如同给管道做 “深度体检”，精准定位焊缝缺陷。通过及时对发现的问题进行补焊修复，成功消除了潜在的泄漏风险，使真空严密性得到显著提升，为机组稳定运行筑牢根基[3]。

阀门作为系统中的 “控制枢纽”，其密封性能直接决定了气体是否会 “偷跑”。长期的开关操作、介质冲刷，极易导致阀门密封件磨损老化。因此，对阀门进行定期 “诊断” 不可或缺，技术人员需要细致检查密封面的磨损程度、密封圈的弹性状况等。一旦发现密封损坏，就必须果断更换阀门，如同为系统换上 “健康的心脏瓣膜”，杜绝气体泄漏的可能。凝汽器作为真空系统的 “核心器官”，其运行状态关乎整个系统的性能。铜管表面容易因水质、蒸汽杂质等因素附着污垢，这些污垢如同给铜管披上一层 “隔热衣”，严重影响换热效率。定期对凝汽器进行清洗，采用化学清洗、高压水冲洗等方法，能够有效剥离污垢，恢复铜管的高效换热能力。

2.2 运行优化调整

机组运行恰似一场精密的交响乐演奏，各个环节的协调配合至关重要，而运行优化调整便是这场演奏中不可或缺的指挥棒，能有效提升真空系统的严密性。轴封供汽系统犹如机组的 “防护盾”，其压力与温度参数的精准把控，直接关系到汽轮机轴端的密封效果。轴封供汽压力过低，就像防护盾出现裂缝，外界空气会趁虚而入，破坏真空系统的稳定性；压力过高则可能导致蒸汽泄漏，造成能源浪费。在实际运行中，机组负荷时刻处于动态变化之中，这就要求运行人员必须如同敏锐的调音师，根据负荷波动及时调整轴封供汽压力。某 300MW 机组通过引入先进的智能控制系统，优化轴封供汽压力调节逻辑，让压力能够随着负荷变化自动、精准地调整。当机组负荷降低时，系统自动降低轴封供汽压力，减少蒸汽消耗；负荷升高时，又能迅速提升压力，确保轴端密封严实。经过这样的优化，该机组的真空严密性得到显著改善，有效减少了空气泄漏，提升了机组运行效率[4]。

真空泵作为真空系统的 “清道夫”，其正常运行是维持真空度的关键。密封水对于真空泵而言，就像血液对于人体，其温度和水位直接影响着真空泵的性能。密封水温度过高，会降低真空泵的抽气能力；水位过低或流量不足，会导致真空泵无法正常工作，甚至造成设备损坏。运行人员需要定期对真空泵的密封水温度和水位进行细致监测，如同医生为病人测量体温和血压，一旦发现异常，立即调整密封

水流量。例如，当密封水温度升高时，及时增加冷却水量，降低温度；水位不足时，迅速补充水源，确保流量稳定。同时，当真空泵出现振动异常、抽气效率下降等工作异常情况时，运行人员要迅速反应，如同经验丰富的机械师，凭借专业知识和实践经验，快速定位故障原因并进行处理，让真空泵始终保持高效的工作状态，及时抽走真空系统内的不凝结气体。机组负荷的变化对真空系统而言，就像海浪对堤坝的冲击，剧烈的负荷突变会给真空系统带来巨大压力，可能导致密封薄弱处出现泄漏。因此，合理调整机组负荷至关重要，运行人员需要如同经验丰富的船长，根据海况平稳操控船只，平稳、有序地调整机组负荷，避免负荷大幅波动。在机组启动和停止过程中，这两个阶段就像交响乐的序曲和尾声，操作的规范性直接影响着真空系统的稳定性。运行人员必须严格按照操作规程，如同遵循乐谱的节奏，逐步完成各项操作步骤。在启动时，缓慢提升负荷，让真空系统逐步适应压力变化；停机时，有序降低负荷，确保真空系统平稳过渡，从而保障真空系统在整个机组运行周期内都能稳定运行，维持良好的真空严密性。

3. 查漏技术的应用

在真空系统的维护领域，寻找泄漏点犹如在复杂迷宫中搜寻隐藏的出口，先进的查漏技术则是帮助工程师们精准定位的 “导航仪”，为提升真空严密性筑牢关键防线。随着技术的不断迭代更新，氦质谱检漏法、超声波检漏法、负压法等一系列高效检测手段应运而生，成为保障真空系统稳定运行的 “利器”[5]。

氦质谱检漏法凭借其极高的灵敏度与精准度，堪称查漏技术中的 “显微镜”。该方法基于质谱分析原理，利用氦气作为示踪气体，由于氦气分子质量小、扩散性强，能够迅速渗入极其微小的漏孔。当氦气通过漏孔进入检测系统后，质谱仪会对其进行精准捕捉与分析，从而确定泄漏点的位置与泄漏量。某电厂在对 300MW 机组真空系统进行检测时，引入氦质谱检漏仪，该仪器如同敏锐的 “电子鼻”，成功识别出位于管道焊缝、阀门密封面等隐蔽位置的多处微小泄漏点，最小可检测到每秒 10^{-9} 帕 · 立方米的泄漏量。技术人员依据检测结果迅速开展修复工作，使真空严密性得到显著提升，机组运行效率大幅提高。超声波检漏法则以其独特的检测机制，成为运行状态下检测泄漏的 “听诊器”。当气体从泄漏点喷出时，会因摩擦和湍流产生高频超声波信号，这种信号人耳无法察觉，但超声波检漏仪能够将其捕捉并转换为可识别的声音或图像信号。该方法操作简便，无需对系统进行复杂的预处理，工程师只需手持检漏仪在疑似泄漏区域进行扫描，就能像医生用听诊器诊断病情一样，快速定位泄漏点。尤其在机组正常运行过程中，超声波检漏法可以实时监测系统状态，及时发现潜在的泄漏隐患，避免因停机检测而造成的发电损失，极大地提高了检测效率与经济性。

结语

火电厂 300MW 机组真空严密性与汽轮机经济性紧密相连。真空严密性下降会导致热耗率、汽耗率攀升，发电煤耗显著增加，同时威胁机组运行稳定性与安全性。而通过加强设备维护检修、优化运行调整、运用先进查漏技术等措施，可有效提升真空严密性，降低能耗，提高机组整体经济效益。未来，随着技术进步，应持续探索更高效的真空系统优化方案，推动火电厂向高效、低碳方向发展，为能源行业可持续发展注入动力。

参考文献：

[1] 王冠桥 , 陈谈谈 , 白科亭 . 凝汽式汽轮机真空系统实时诊断技术探究 [J]. 电力设备管理 , 2024, (21): 77–79.

[2] 姜涛 , 蒋杰 , 王奉岩 , 刘龙 , 宋益纯 . 凝汽式汽轮机真空系统实时诊断技术研究 [J]. 中国设备工程 , 2023, (17): 185–187.

[3] 刘亚洲 . 汽轮机真空系统查漏工作的总结与思考 [J]. 河南电力 , 2023, (S1): 73–75.

[4] 王胜辉 . 余热汽轮机真空严密性不合格原因分析及应对 [J]. 煤化工 , 2022, 50 (06): 127–130.

[5] 董广彦 , 郭庆杰 , 张伟 , 曹建 , 牟启涛 . 火电机组抽真空系统常见问题及分析 [J]. 能源科技 , 2022, 20 (02): 51–53.

作者简介：谢忠富；性别：男；出生日期：1994 年 1 月；民族：汉族；籍贯：贵州贵阳；学历：大学专科；职称：助理工程师； 研究方向：火力发电厂设备研究与应用