

高温高压火电机组的优化设计与运行维护

徐志强

国家能源集团店塔电厂, 陕西 神木 719300

摘要： 本文研究了高温高压火电机组的优化设计与运行维护。通过设计原则、先进技术和案例分析, 探讨优化设计在提高效率、降低排放和延长设备寿命中的作用。介绍了预防性维护、预测性维护及先进诊断技术在确保机组安全稳定运行中的应用, 并提出了提升能效和保护环境的措施。

关键词： 高温高压火电机组; 优化设计; 运行维护; 能效提升; 环境保护

Optimal Design and Operation Maintenance of High Temperature and High Pressure Thermal Power Units

Xu Zhiqiang

Dianta Power Plant, National Energy Group, Shaanxi, Shenmu 719300

Abstract： This paper studies the optimization design and operation & maintenance of high-temperature and high-pressure power generation units. It discusses the role of optimization design in improving efficiency, reducing emissions, and extending equipment life through design principles, advanced technologies, and case studies. The applications of preventive maintenance, predictive maintenance, and advanced diagnostic technologies for safe and stable operation are introduced, along with measures for energy efficiency improvement and environmental protection.

Keywords： high-temperature and high-pressure power generation unit; optimization design; operation and maintenance; energy efficiency improvement; environmental protection

引言

火电机组在全球能源供应中占据着重要地位, 其高效运行对电力系统的稳定和经济性至关重要。近年来, 随着能源需求的不断增加和环境保护压力的加大, 高温高压火电机组由于其高效率 and 低排放的特点, 逐渐成为技术改进和研究的热点。然而, 传统火电机组在效率、环保和经济性方面仍有很大的提升空间。

优化设计与运行维护对高温高压火电机组的高效、安全和经济运行具有重要意义。优化设计可以有效提高机组的热效率、减少燃料消耗和降低运营成本; 而高效的运行维护则是保证机组安全、稳定运行的关键, 能够延长设备寿命, 减少故障发生率和维护成本。

一、高温高压火电机组的基本原理

热力学基础

热力学是研究能量转化和传递规律的自然科学基础。对于高温高压火电机组, 理解热力学规律至关重要。火力发电的基本工作原理是通过燃料燃烧释放热能, 将热能转变为机械能, 最后将机械能转化为电能。在这个过程中, 两个关键的热力学定律起着重要作用。

首先是热力学第一定律, 即能量守恒定律。它指出, 能量既不会凭空产生, 也不会凭空消失, 只会从一种形式转化为另一种形式。在火电机组中, 燃料的化学能通过燃烧转化为热能, 这些热能增加了水蒸气的内能, 使蒸气膨胀做功, 进一步转化为机械能。

其次, 热力学第二定律, 即热量只能自发地从高温物体传向低温物体, 不可能在不做功的情况下自动逆向传递。这意味着在

火电机组中, 具有高温高压的蒸汽通过膨胀做功, 将热能转化为机械能, 同时温度和压力逐渐降低, 表现出能量的不可逆损失, 因此必须通过优化设计和操作维护来最大限度地提高效率。

高温高压火电机组的热力循环过程通常采用朗肯循环 (Rankine Cycle)。在这个过程中, 锅炉中的水被加热成高温高压蒸汽, 蒸汽推动汽轮机做功发电, 然后进入冷凝器冷却成水, 经过水泵加压后重新进入锅炉进行循环。高温高压的工作条件使得循环效率更高, 但也对材料和设计提出了更高要求。

二、高温高压火电机组的优化设计

(一) 设计原则

高温高压火电机组的优化设计旨在提升整体工作效率、降低能源消耗和环境污染。具体设计原则如下:

作者简介: 徐志强 19860210 性别: 男 民族: 汉籍贯: 陕西省神木市学历: 大学本科职称: 集控运行值班员研究方向: 火电厂火电机组集控运行调整身份证号: 612722198602102775 邮箱: xuxu11172096@qq.com

1. 提高汽轮机效率

汽轮机作为火电机组的核心部件，其效率直接关系到整个系统的性能。通过优化叶片的形状和分布，以及采用先进的材料，可以提升汽轮机的热力学性能。例如，利用计算流体动力学（CFD）技术设计高效叶片，减少涡流和能量损失；选用更耐热的合金材料，以承受高温高压环境。

2. 优化燃烧过程

燃烧过程的效率不仅影响到能源利用率，还有助于降低污染物排放。改进燃烧器设计、改善空气分配系统，可以提高燃料的燃烧效率。此外，采用低氮燃烧技术（LNB）等手段，可以有效减少 NOx 等有害气体的排放。

3. 提高热交换效率

热交换设备如锅炉和预热器在火电机组中起着关键作用。通过优化热交换器的设计和布置，可以最大化热量回收，减少热损失。创新性的微通道热交换器设计和高效传热材料的应用，都有助于提高热交换效率。

4. 降低能量损失

在高温高压环境下，能量损失主要发生在各组件连接处以及热传导介质中。改进密封技术、减少管道摩擦损失、优化压力容器器的设计，可以有效降低这些不可避免的能量损失。

（二）先进技术

1. 超临界和超超临界技术

超临界（SC）和超超临界（USC）技术通过采用高温高压的蒸汽参数，大幅提高了机组的热效率。这要求开发能够承受高温高压的新材料，例如镍基合金，以及精密的制造工艺，如电子束焊接技术。这些技术不仅提升了热效率，还减少了二氧化碳和其他污染物的排放。

2. 复合循环技术

复合循环技术将燃气轮机（GT）与蒸汽轮机（ST）相结合，充分利用燃气轮机高温排气中的余热，提高整体能源的利用率。例如，结合联合循环（CC）系统，能将综合热效率提升到60%以上，大幅超过传统单循环电厂的效率。

三、高温高压火电机组的运行维护

（一）维护策略

高温高压火电机组的运行维护是确保其安全稳定运行的关键。为了实现高效运行、延长设备寿命和防止事故发生，需要制定和实施有效的维护策略。以下是常用的维护策略：

1. 预防性维护

预防性维护指的是在设备出现故障之前，通过定期的检查、清洁和校准来发现和修复潜在的问题。其具体措施包括：

- 定期检查：根据设备的运行时间和条件，制定详细的检查计划，定期检查关键部件的磨损情况和运行状态。
- 清洁：高温高压环境中容易积聚污垢和沉积物，需要定期清洁提高设备的散热和运行效率。
- 校准：对温度传感器、压力表等关键检测仪器进行定期校准，确保数据准确性，从而指导运行和维护决策。

2. 预测性维护

预测性维护利用先进的诊断技术，实时监测设备运行状态，

预测故障的发生并提前采取措施。其核心就是“预知即防范”，包括以下几方面：

- 振动监测：安装加速度传感器，实时采集设备振动数据，通过分析振动特征识别潜在故障，如轴承磨损、不平衡等。
- 热成像监测：利用红外热像仪定期扫描设备表面温度分布，发现局部过热现象，从而定位潜在的热故障。
- 油液分析：定期抽取润滑油样本进行污染度、粘度等指标分析，监测机械部件的磨损情况和润滑状态。

（二）诊断技术

高温高压环境下的设备故障诊断具有极大的挑战性，因设备处于严苛的工况中，传统诊断手段往往难以满足要求。因此，采用先进的诊断技术是提高故障诊断准确性和效率的关键。

1. 振动监测

振动监测是机械设备故障诊断中最常用的一种方法。在高温高压火电机组中，安装加速度传感器，能够即时监测设备运行中的振动情况。通过对振动信号的频域和时域分析，可以识别出设备的不平衡、机械松动、轴承损坏等故障模式，进而采取针对性的维护措施。

2. 温度监测

温度监测在高温高压环境中尤为重要。采用热电偶和红外热成像技术，可以实时监测高温区域的温度分布情况。热电偶应用于高温区域的直接温度测量，红外热成像则可以远程监测表面温度变化，快速发现异常发热部位。

（三）维护经验

在实际运行维护中，积累了大量的经验教训和最佳实践，这些经验对保证设备的长期稳定运行具有重要价值。

1. 建立完善的巡检和保养制度

完善的巡检和保养制度是保证设备安全运行的基础。通过定期巡检，可以及时发现和修复问题，避免故障扩大化。巡检时应注意记录设备的各项运行参数、异常现象，形成维护档案，为后续分析和决策提供依据。

2. 加强操作人员培训

操作人员是设备维护的关键，必须加强其维护技能和风险意识培训。通过定期培训和考核，提高操作人员识别故障、排除故障和实施维护的能力，减少人为操作失误导致的设备故障。

3. 建立健全的备件管理和设备更新机制

高温高压火电机组的许多关键部件是消耗品，需要建立健全的备件管理机制，确保备件供应充足。同时，根据设备运行状态，适时更新老化的设备和部件，提高整体系统的可靠性。

4. 注重信息化管理

随着信息技术的发展，火电机组的运行维护也逐渐向信息化和智能化方向发展。通过引入大数据分析和管理系统，可以对设备运行数据进行实时监控和分析，优化维护策略，提高维护效率和设备利用率。

四、高温高压火电机组的能效提升

（一）能效指标

高温高压火电机组能效的评估至关重要，主要通过以下几项

指标全面反映：

1.热效率：热效率是评价机组将输入的燃料能量转换成电能的比率。对于高温高压机组，提高热效率意味着能够在相同燃料输入下产生更多的电能，从而减少资源浪费。

2.热耗率：热耗率是单位电能生产所需的燃料能量，通常以 MJ/kWh 表示。降低热耗率意味着机组的能源利用更加高效，通过减少燃料消耗可以降低运营成本和环境负荷。

3.厂用电率：厂用电率指机组自身运行所消耗的电能占总发电量的比例。减少厂用电率可以增加净电力输出，提高经济效益。

4.碳排放强度：碳排放强度反映单位发电量的二氧化碳排放量。通过降低碳排放强度，火电机组能够减少对环境的影响，符合可持续发展的要求。

各项能效指标的综合评估能够全面体现高温高压火电机组的能源利用效率和环境影响，为进一步的能效提升措施提供基础依据。

（二）节能措施

1.余热回收利用

高温高压机组在运行过程中产生大量废热未被充分利用，回收利用这些余热可以显著提高机组的整体热效率。具体方法包括：

- 回收锅炉烟气中的余热，利用换热设备将其转化用于预热进给水等工艺。
- 汽轮机排汽余热的回收利用，通过换热器或热泵技术再利用这些热能，提高整体能源利用效率。

尽管余热回收需要增加初始投资，但其带来的长期效益显著，为实现节能减排奠定基础。

2.优化燃烧过程

优化燃烧过程可以提升燃料的燃烧效率，具体措施包括：

- 改进燃烧器设计，采用高效燃烧器以提高燃烧均匀性和完全性。
- 通过优化空气分配，提高燃料与助燃空气的混合效果，减少不完全燃烧现象。

这些措施虽然改造成本相对较低，但对于燃料利用率的提升作用显著，是火电机组能效提升的重要途径。

3.脱硫脱硝技术

脱硫脱硝技术不仅能减少环境污染，对于提高能效也具有间接作用。主要技术包括：

- 湿法脱硫，通过化学反应将烟气中的二氧化硫去除。
- 选择性催化还原（SCR），在催化剂的作用下，将氮氧化物还原为无害的氮气和水。

虽然脱硫脱硝技术会增加一定的运行成本，但其环保效益明显，可以在提升能效的同时，减少对环境的负面影响。

五、环境保护与可持续发展

（一）污染控制技术

在高温高压火电机组的运行中，减少污染物排放是实现环境保护的关键。现代火电机组采用了一系列先进的污染控制技术和设备。

脱硫技术主要通过烟气脱硫（Flue Gas Desulfurization, FGD）

系统来实现。其中，石灰石-石膏湿法脱硫（Wet Limestone-Gypsum FGD）技术应用最为广泛。该技术利用石灰石浆液吸收烟气中的二氧化硫，生成石膏，从而有效降低二氧化硫的排放。

脱硝技术则多采用选择性催化还原（Selective Catalytic Reduction, SCR）和选择性非催化还原（Selective Non-Catalytic Reduction, SNCR）方法。SCR技术通过氨水或尿素作为还原剂，在催化剂的作用下将氮氧化物还原为氮气和水，效果显著。而SNCR技术则直接将还原剂喷入高温区，还原效率相对较低，但成本较低，适用于中小型机组。

（二）可持续发展

高温高压火电机组在现代能源体系中仍占有重要地位，实现其可持续发展至关重要。首先，火电机组在未来能源结构中过渡阶段的稳定性和安全性方面具有不可替代的作用。尽管可再生能源逐渐崛起，但在短期内，火电仍将是主要的基础负荷电源。

为实现可持续发展，火电机组需进一步提升效率，降低燃料消耗和污染物排放。超超临界（Ultra Supercritical, USC）和先进超超临界（Advanced Ultra Supercritical, A-USC）技术的发展是重要方向。通过提升蒸汽参数，火电机组可进一步提高热效率，减少二氧化碳排放。

此外，碳捕捉与封存（Carbon Capture and Storage, CCS）技术的应用也将是未来发展的重要趋势。通过捕捉烟气中的二氧化碳并进行封存或利用，可有效减少碳排放，助力实现碳中和目标。

结论

本文从高温高压火电机组的基本原理出发，深入探讨了其优化设计和运行维护的关键技术。通过分析设计原则、先进技术和实际案例，阐明了优化设计在提高效率、降低排放和延长设备寿命等方面的重要作用。同时，本文还系统介绍了预防性维护、预测性维护以及先进诊断技术在确保机组安全稳定运行中的应用。此外，针对能效提升和环境保护，本文提出了多种有效措施，并分析了其优缺点。

综上所述，高温高压火电机组的优化设计与运行维护是推动火电技术进步、实现可持续发展的关键所在。通过系统化的研究和实践应用，不仅能提高机组的整体性能，还能为电力行业的绿色转型贡献力量。

参考文献：

- [1] 贺刚. 火力发电厂机组深度调峰运行的自启停控制优化 [J]. 电工技术, 2023, (09): 203-206+209.DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2023.09.057.
- [2] 彭世通. 发动机再制造系统能效提升及其宏观环境效益研究 [D]. 大连理工大学, 2020.DOI: 10.26991/d.cnki.gdlu.2020.003691.
- [3] 王南洋. 浅谈火电机组分级报警系统逻辑设计优化 [J]. 中国设备工程, 2023, (13): 161-162.
- [4] 王光培, 王彤, 黄晓凡. 电化学储能电站综合能效提升关键技术及经济性分析 [J]. 能源与节能, 2023, (12): 10-12+17.DOI: 10.16643/j.cnki.14-1360/td.2023.12.054.
- [5] 徐鹏, 李文成, 陈冬林, 等. 火电机组烟道典型管件降阻的数值模拟优化研究与应用 [J]. 电站系统工程, 2022, 38(04): 11-14.