

火电厂汽机排汽余热发电设计研究

苏 鹏

陕西德源府谷能源有限公司 陕西 榆林 719000

摘 要：火电厂汽机排汽余热发电系统的设计与实施是一个综合性的工程，旨在高效利用汽机排汽中的余热进行发电。系统总体架构巧妙地融合了温差发电模块与排汽管道的改造与优化，形成了热能转换与回收的核心机制。温差发电模块在材料选择与结构优化上精益求精，确保了热电转换效率的大幅提升。同时，排汽管道的改造与优化显著减少了热损失，使得余热回收率得以显著提高。在系统实施阶段，我们遵循严格的既定步骤，确保了设备安装、调试与集成的顺利进行。性能测试结果显示，该系统发电效率高且稳定，安全性可靠，为火电厂的节能减排和可持续发展注入了新的活力。

关键词：火电厂；汽机排汽；余热发电设计

引言：随着全球经济的持续发展和人口的不断增长，能源需求呈现出爆炸性增长的态势。与此同时，环境保护已成为全球共识，社会各界对节能减排的要求日益严格。火电厂，作为电力生产的主力军，在保障能源供应的同时，也面临着巨大的节能减排压力。汽机排汽余热，作为火电厂运行过程中的一种重要副产品，其蕴含的能量巨大且尚未得到充分利用。有效回收利用这部分余热，不仅能够提高火电厂的能源利用效率，还能显著减少温室气体排放，对推动火电厂的绿色转型和可持续发展具有重要意义。

1 火电厂汽机排汽余热发电原理

火电厂汽机排汽余热发电原理主要基于温差发电技术和热能转换原理，通过有效利用火电厂汽机排汽中的余热来产生电能，是一种高效且环保的能源利用方式。在火电厂中，汽机排汽通常包含大量的余热，这些余热如果不加以利用，不仅会浪费能源，还可能对环境造成热污染。因此，通过温差发电技术，我们可以将这些余热转化为电能，实现能源的再利用。温差发电的基本原理是利用热电材料的Seebeck效应。Seebeck效应是指当两种不同材质的导体或半导体在温度不同的两端连接形成回路时，由于温差的作用，回路中会产生电动势，从而产生电流。在火电厂汽机排汽余热发电系统中，这种热电材料被串联成闭合回路，一端提供热源（即汽机排汽余热），另一端给予冷却^[1]。在热源端，热电材料吸收热量并转化为电能；在冷却端，热量被释放到环境中，同时产生电流。为了实现这一过程，需要选择合适的热电材料。这些材料应具有较高的塞贝克系数和较低的导热系数，以确保高效的热电转化和减少热量损失。此外，温差发电模块的设计也至关重要，它能够保持整个发电

过程中的温度处于一个恒定状态，避免因温差剧烈变化而导致热能的大量损失以及发电装置过流损坏。在火电厂汽机排汽余热发电系统中，排汽首先进入排汽余热吸收段，其携带的余热被热电转化管道吸收并传递到热电转换核心装置中。然后，在中央调控设备的调节下，多余的热能通过温差发电转化为电能。最后，被吸收余热后的排汽从排出段排出，完成整个热电转化过程。

2 火电厂汽机排汽余热发电系统设计

2.1 系统总体架构

2.1.1 排汽余热吸收段与排出段的设计

排汽余热吸收段是火电厂汽机排汽余热发电系统的关键部分。它设计有高效的热交换器，用于捕捉汽机排汽中的余热。这些热交换器采用耐腐蚀、耐高温的材料制成，以确保长期稳定运行。排出段则负责将经过热交换后的排汽安全地排放到大汽中。在排出段的设计中，考虑了防止热量回流和减少排放噪音的措施。同时，为了最大化余热利用效率，排出段还配备了余热回收装置，以进一步回收可能散失的热量。

2.1.2 热电转化核心装置的选择与布局

热电转化核心装置是火电厂汽机排汽余热发电系统的关键组件，其核心功能是将排汽中的余热高效转换为电能。在挑选热电转化装置时，我们严格评估了材料的热电转换效率、长期运行的稳定性以及整体的成本效益，力求在性能与经济性之间找到最佳平衡点。在布局设计上，热电转化装置被巧妙地安置在排汽余热的吸收段与排出段之间，这一布局确保了余热能够充分且高效地传递给热电材料，从而最大化发电效率。同时，我们也充分考虑了装置的散热需求与日常维护的便捷性，通过合理的结构设计，为系统的长期稳定运行奠定了坚实

基础。

2.1.3 连接设备与中央调控设备的作用与配置

连接设备包括管道、阀门和传感器等，它们负责将各个部分连接起来，形成一个完整的系统。这些设备采用耐高温、耐腐蚀的材料制成，以确保系统的安全性和可靠性。中央调控设备则负责监控和控制整个系统的运行。它配置了先进的传感器和控制系统，能够实时监测排汽温度、热电转化效率和系统运行状态。通过中央调控设备，操作人员可以方便地调整系统参数，以确保系统的最佳性能和安全性。

2.2 温差发电模块的设计

在火电厂汽机排汽余热发电系统中，温差发电模块的设计是确保高效能量转换的关键环节。以下是温差发电模块设计的几个关键点：（1）材料选择与优化：温差发电模块的核心在于热电材料的选择。这些材料应具备高塞贝克系数、低热导率以及良好的机械稳定性和化学稳定性。通过材料科学研究，筛选出最适合火电厂汽机排汽余热特性的热电材料，并进行材料成分的微调，以进一步提升其热电性能。（2）结构设计：模块的结构设计需确保热量从排汽有效传递到热电材料，同时减少热量损失。这包括热电偶的排列方式、模块的几何形状以及热接触面的设计等。合理的结构设计不仅能提高热电转换效率，还能延长模块的使用寿命。（3）热管理：有效的热管理是温差发电模块设计中不可或缺的一部分。通过设计合理的散热系统，如采用热管、散热片等，可以有效控制模块的工作温度，防止过热导致的性能下降或损坏。（4）封装技术：温差发电模块的封装技术对其长期稳定运行至关重要。封装材料应具有良好的密封性和隔热性，以防止外部环境的干扰和内部热量的泄露。同时，封装还应便于模块的维护和更换。（5）系统集成与测试：在温差发电模块设计完成后，需进行系统集成与测试。这包括模块与排汽管道的连接、模块的并联与串联、以及与中央控制系统的集成等。通过测试，可以验证模块的性能是否满足设计要求，并进行必要的调整和优化。

2.3 排汽管道的改造与优化

在火电厂汽机排汽余热发电系统设计中，排汽管道的改造与优化是提升余热利用效率的关键步骤。对排汽管道的材质进行升级，采用耐高温、耐腐蚀、导热性能良好的材料，如特殊合金钢或陶瓷复合材料，以减少管道在高温环境下的热损失，提高余热回收效率。优化管道内部结构，通过增加内衬或采用特殊形状的管道设计，如螺旋形或波纹形管道，增加排汽与管道内壁的接

触面积，从而提高热交换效率。这种设计还能有效减少排汽流动阻力，降低能耗。对排汽管道进行保温处理，在管道外部包裹高效保温材料，如岩棉、硅酸铝纤维等，以减少管道向环境的热辐射和热对流损失，保持排汽的高温状态，有利于余热的高效回收。考虑在排汽管道中设置余热回收装置，如热管换热器或热交换器^[2]。这些装置能有效吸收排汽中的余热，并将其传递给工作介质，如水或导热油等，进而用于发电或其他热能利用场景。对排汽管道的布局进行合理规划，确保管道走向顺畅，减少弯头和变径处的能量损失。同时，考虑管道的支撑和固定方式，确保其在高温高压环境下的稳定运行。

3 火电厂汽机排汽余热发电系统的实施与测试

3.1 系统实施步骤

火电厂汽机排汽余热发电系统的实施是一个复杂而精细的过程，需要严格按照既定步骤进行，以确保系统的稳定性和高效性。以下是系统实施的主要步骤：（1）前期准备：在系统实施前，需要进行全面的前期准备工作。这包括对项目现场的实地考察，了解汽机排汽的具体参数和余热分布情况；制定详细的施工方案，包括人员分工、材料采购、设备选型等；同时，还需进行安全风险评估，确保施工过程中的人员和设备安全。（2）设备安装与调试：按照施工方案，逐步进行设备的安装工作。这包括温差发电模块、排汽管道改造与优化装置、连接设备与中央调控设备等。在安装过程中，需确保设备的准确性和稳定性。安装完成后，进行系统调试，检查各部件之间的连接是否紧密，设备是否运行正常。（3）系统集成与调试：将所有设备安装完成后，进行系统集成工作。这包括将温差发电模块与排汽管道连接，将连接设备与中央调控设备连接等。系统集成完成后，进行系统整体调试，确保各部件之间的协同工作正常，系统整体性能达到预期。（4）性能测试与优化：在系统实施完成后，进行全面的性能测试。这包括对系统的发电效率、稳定性、安全性等方面进行测试。根据测试结果，对系统进行必要的优化调整，以提高系统的整体性能。（5）培训与交付：在系统实施与测试完成后，对操作人员进行专业培训，确保他们能够熟练掌握系统的操作流程和维护方法。同时，进行系统交付工作，将系统正式移交给火电厂进行运行和维护。

3.2 系统性能测试

3.2.1 测试方案与测试条件设定

为了确保火电厂汽机排汽余热发电系统的性能达到预期，制定一套全面而科学的测试方案至关重要。测试方案应明确测试目标、测试步骤、测试设备及仪器、数

据记录与分析方法等。同时，测试条件的设定也极为关键，包括排汽温度、流量、压力等参数的设定，以及环境温度、湿度等外部条件的控制。在设定测试条件时，需充分考虑火电厂的实际运行状况，确保测试结果的准确性和可靠性。此外，还需制定详细的安全措施，确保测试过程中的人员和设备安全。

3.2.2 开路电压与短路电流的测量与分析

开路电压与短路电流是衡量温差发电模块效能的关键参数。在测试环节，首要任务是测定系统在无负载状态下的开路电压，它代表了系统能输出的最大电压潜力。紧接着，进行短路电流测试，即系统负载为零时流过的最大电流，这反映了模块的电流输出能力。通过对比这两项指标的实际测量值与理论预期值，可以直观评估温差发电模块的性能达标情况。此外，持续监测电压与电流随时间的波动，能够深入了解系统的运行稳定性。这些测试数据为优化模块设计、提升发电效率及确保系统长期稳定运行提供了宝贵的参考依据，是温差发电技术发展中不可或缺的一环。

3.2.3 系统发电效率与稳定性的评估

系统发电效率与稳定性是衡量火电厂汽机排汽余热发电系统性能的核心指标。在测试过程中，需记录系统在不同负载条件下的发电量，并通过计算得出系统的发电效率。同时，还需观察系统在不同工况下的运行稳定性，包括电压、电流、温度的波动情况等。通过对比实际测试数据与预期目标值，可以评估系统的发电效率是否达到预期，以及系统的稳定性是否满足运行要求。对于发现的任何问题，需及时进行排查和优化，以确保系统的长期稳定运行。

3.3 测试结果分析

在火电厂汽机排汽余热发电系统的实施与测试阶段，测试结果的分析是至关重要的一环，通过对测试数据的全面分析，可以深入了解系统的性能表现，并为后续优化调整提供有力依据。在开路电压与短路电流的

测量中，我们得到了系统的基本电性能参数。这些数据不仅反映了温差发电模块的输出能力，还为我们评估系统的热电转换效率提供了重要参考。通过对比理论计算值与实际测量值，我们发现系统的开路电压和短路电流均达到了预期目标，表明温差发电模块的性能表现良好^[1]。在系统发电效率与稳定性的评估中，我们记录了系统在不同负载条件下的发电量，并计算得出了系统的发电效率。结果显示，系统在不同工况下均能保持较高的发电效率，且稳定性良好。这得益于我们精心设计的排汽管道改造与优化方案，以及高效的温差发电模块和中央调控设备。此外，我们还对系统的安全性进行了全面评估。通过模拟各种可能出现的异常情况，我们验证了系统的安全保护机制和故障处理能力。结果显示，系统在遇到异常情况时能够迅速响应并采取保护措施，确保设备和人员的安全。

结语

未来，随着材料科学、热力学以及自动化控制技术的不断进步，火电厂汽机排汽余热发电系统的性能将进一步优化，其应用范围和效率都将得到显著提升。更加智能化的控制系统将使余热回收过程更加高效、稳定，同时降低运维成本。此外，随着政策的引导和市场的认可，这一绿色能源技术将得到更广泛的推广和应用，不仅在火电厂内部形成闭环能源利用体系，还可能与其他工业领域实现能源互联，共同推动能源结构的优化和环境的可持续发展。

参考文献

- [1]王明.排汽余热回收技术及应用[J].能源科学与工程,2022,10(3):245-256.
- [2]张红,李华.智能化排汽余热回收系统设计与应用[J].工业技术创新,2021,7(2):32-40.
- [3]赵雷,陈静.多能联供在排汽余热回收中的应用研究[J].可再生能源,2023,15(4):432-445.