

燃煤电厂余热利用系统优化 及烟气余热回收技术研究

广西华磊新材料有限公司发电厂 冯光信

摘要：燃煤电厂作为生产电能的主要场所，生产社会所需电能的同时会造成严重的环境污染。本文结合实际案例研究燃煤电厂面临的节能减排问题，明确现行余热利用系统运行状态，提出改进余热利用系统的措施，分析系统改进后的节能减排效果，使烟气余热回收技术合理被运用，为系统优化提供参考。

关键词：燃煤电厂；余热利用系统；烟气余热回收

烟气余热造成的能量损失，占锅炉热损失的60%至70%，而优化余热利用系统是减少能量损失的关键措施，有助于提高能量的利用率。以本厂燃煤热电机组为例，利用烟气余热回收技术改造机组，研究在机组改造中运用该技术的方式，实践中从耗煤量、耗水量等方面分析系统优化效果，发现引入该技术优化余热利用系统效果显著，能够实现节能减排目标。

1 燃煤电厂余热利用系统技术方案

近年来燃煤电厂余热利用系统不断被优化，烟气余热回收率提升，截至2022年我国煤电机组煤耗降至300.7克标准煤/kWh，但与发达国家依旧存在一定差距，十四五期间将对机组进行进一步改造，使其煤耗下降至300克标准煤/kWh以下。排放的烟气中含有较多污染物，直接排放会造成环境污染，与社会发展目标不符，而烟气余热回收技术的运用能够避免烟气直接排放，实现烟气中能量的回收，降低排放烟气的污染性。

1.1 技术方案分析

根据燃煤电厂余热利用系统结构，本厂在余热利用系统中加装低温省煤器用于优化系统性能，考虑机组运行特点，确定在以下位置安装低温省煤器，以此达到回收余热的目标，提高燃煤能量利用率，

收稿日期：2023-08-17。

减少燃煤热电机组运行造成的环境污染。

第一，在脱硫塔前加装低温省煤器，以此达到减少脱硫塔耗水量的目标，使脱硫塔运行更为稳定，既能够降低脱硫塔能耗，又可避免环境污染，提高系统节能减排效果；第二，除尘器前安装低温省煤器，借此回收余热，使除尘器处于稳定运行状态。除尘器除尘效率较高，不仅能实现优化余热利用系统的目标，还能够延长除尘器的使用寿命，无需投入大量资金用于除尘器维护，控制余热利用系统的运行维护成本^[1]。

1.2 节能效果分析

在进一步优化余热利用系统之前，工作人员要分析现有余热利用系统的节能效果，作为制定系统改造方案的基础，以便制定更科学的系统改造方案。冬季与夏季工况不同，在研究余热利用系统运行效果时，要考虑环境的影响，分别研究不同季节条件下该系统运行的节能效果。本厂在系统中加装低温省煤器后，冬季与夏季均可将排放烟气温度降低至90℃，余热利用效率显著提升，燃煤量明显下降，烟气余热被回收利用。分析发现加装低温省煤器后系统运行消耗水量明显下降，如表1所示，可见低温省煤器在系统中发挥重要作用，在此基础上改进系统可提升系统节能效果。

表1 脱硫塔节水效果

名称	夏季	冬季额定	最大抽气
节约脱硫耗水(t/h)	26.9	20.9	16.3
年累计节水量(万吨/年)	14.8	11.5	9

分析燃煤电厂冬季系统运行效果时，要注意监测水泵的功率，并依据水泵功率增长幅度计算冬季发电产生的煤耗，计算公式为： $Wb=Ws/p \times (q/Q \times 1000)$ ，式中： Ws 为水泵增加功率， Q 代表煤发热值， q 能耗， p 为发电功率。基于该计算结果，工作人员可准确判断本厂运行能耗，评价余热利用系统改造方案的合理性。

2 燃煤电厂余热利用系统结构优化

2.1 模拟烟气流场

本厂在改造系统前，掌握安装低温省煤器后烟道结构，借助计算机模拟燃煤热电机组烟道结构，分析烟气的流动规律，预测烟气在烟道内流动对系统运行效果的影响，并提出改造烟道的方案，使烟气流场更为顺畅。基于信息技术构建的烟气流程模型，应按照1:1比例还原实际烟道结构，以保证分析结果的准确性。通过分析流场模型，发现烟道内存在受热不均、烟道磨损问题，且省煤器后侧存在低速涡流，会导致管道内积灰严重，影响系统的运行效果，实际勘察发现与分析结果一致。为此，工作人员依据模拟分析结果，提出优化烟道结构的方案。

针对换热设备受热不均的问题，优化烟道的偏离机制、改进烟道的均流结构，使烟道转弯段不会出现偏流，并借助模型模拟改造后烟气的流场判断该改进措施可行，可用于解决受热不均的问题。同时在低温省煤器出口位置加装导流板以缩小低速区，使省煤器后侧烟道内烟气流速均匀，避免涡流的出现导致烟道内积灰。基于模拟分析结果制定的烟道改造方案与本厂实际情况相符，具有较高的可行性，按照该设计方案改造烟道，烟道结构合理性提升，烟气可在烟道内顺畅流动，省煤器长期处于良好运行状态，在余热利用系统中发挥应有作用，实现余热回收目标^[2]。

2.2 气流分布试验

进行气流分布试验能够检验省煤器前烟气的流动情况，并基于试验结果在省煤器前侧安装导流板，控制烟气在烟道内流动的速度，使烟道内气流均匀。在试验中，本厂按照省煤器的性能在入口处布设监测点5个、出口处设置3个，并在测点安装测量元件，测试方式为使用元件伸入测试孔内，各测点之间距离为0.5m，采集各点测试结果，掌握气流分布状态。基于测量截面动压值与静压值，可计算各位置的风速与风量，计算方式为： $V=\sqrt{2P_d/\rho}$ ，

$Q=A \times \sqrt{2P_d \times \rho}$ 。式中： V 为风速， Q 为风量， P_d 为测得动压值， ρ 为密度， A 为烟道截面积。

其中气流密度的计算方式为： $\rho=\rho_0 \times 273/(273+t) \times (P_a+P_s)/101325$ 。式中： ρ_0 即空气密度， P_a 大气压， P_s 为静压值，按照该公式可准确计算气流密度，作为计算风量与风速的数据基础。基于该计算结果，可判断烟道两侧气流分布的均匀性，完成烟道导流板的设计，并计算设计导流板烟道两侧气流分布均匀性，检验设计方案的合理性。

本厂在烟道内增设导流板后，通过试验计算发现，安装导流板后烟道内气流分布更加均匀，进出口处测得均匀性系数均在0.1左右，未超过0.13，达到设计标准。安装的导流板发挥应有作用，气流在烟道内均匀分布，各处气流速度在可控范围内，即便长距离运输也不会影响烟气回收利用率，提高了电厂的余热利用率^[3]。

2.3 烟气余热回收技术问题解决

2.3.1 低温腐蚀防控

低温腐蚀是余热利用系统运行常见问题，会影响系统运行状态。研究低温腐蚀防控措施，可减缓烟道的腐蚀速度，提高烟气余热回收技术应用效果。在制定低温防腐方案之前要计算燃煤的烟气露点，常用计算方式为： $t=t_0+\beta \sqrt[3]{S/1.05^{afh} \cdot A}$ 。式中： t_0 为温度， β 取值为125， S 、 A 分别是折算硫分与灰分， afh 代表飞灰份额，取值应为0.9，按照该公式计算煤露点结果真实可靠。本厂设计煤种主要参数如表2所示，计算确定使用燃煤酸露点为96℃、水露点为43.9℃，基于此采取以下防腐措施。

表2 锅炉煤种参数设计

性能指标	设计参数	单位
低位发热值	23300	kJ/kg
变形温度	1090	℃
软化温度	1120	℃
熔化温度	1170	℃
可磨性系数	58	无

用于传输烟气的管道使用耐腐蚀钢制作，并在制作管道前检验该材料的腐蚀速度，选择耐腐蚀能力更强的钢材，本厂要求用于烟道制作的材料，每年被腐蚀厚度不可超过0.2mm；注意省煤器入口处温度的控制，保证该位置水温不低于70℃，减少烟道内存在的低温腐蚀区，阻止管道被腐蚀。

控制省煤器出口温度，当管道温度高于露点温度10℃时有效防控低温腐蚀，考虑本厂使用煤种设计露点为85℃，所以排烟温度控制以95℃为最佳；在合适位置布设检测仪表，随时采集展现系统运行

状态信息，对烟道是否存在低温腐蚀实现风险预警功能，烟道被腐蚀时工作人员可快速发现，并采取保护措施保护烟道，延长烟道的使用寿命^[4]。

2.3.2 管束磨损防控

在除尘器之前安装的省煤器，由于此时烟气尚未除尘，其中含有大量灰尘，这些灰尘在省煤器内堆积会导致省煤器被磨损，为此优化余热利用系统时要注意管道磨损防控，及时清理省煤器内堆积的灰尘。

调整烟气在烟道内的流动速度，目前本厂采用的余热利用系统中，除尘前烟气流速为每秒10m左右，容易造成省煤器内灰尘堆积，为此考虑本厂烟气余热回收需要，将烟气流速控制在每秒9.2m左右，可减少烟气内灰尘含量；调整换热器结构，提高换热器各部分焊接质量，改变焊接位置，使焊口与烟气隔绝，避免烟气流动冲击焊口，确保焊口处始终牢固，换热器性能不会受到影响。

识别烟道中的迎风面，适当提高迎风面管道与翅片厚度，用于制作翅片的材料应具有较强的抗磨损能力，在系统运行过程中安装的翅片结构不容易被破坏，可长期发挥作用，减少进入省煤器内的灰尘量；改变烟道进风侧结构，在该位置加装耐磨管道，该管道安装方向与烟气流向一致，借助该管道保护换热管，延长换热管的使用寿命；在系统内加装吹灰器，控制吹灰器的运行状态，定期启动该装置进行吹灰，去除烟道内积攒的灰尘，避免烟道被磨损。

2.3.3 防冻

由于的安装位置为室外，当系统处于非运行状态时，如外界温度较低会导致烟道内水结冰，致使设备被冻坏，考虑本厂冬季运行环境气温较低，可能会出现设备被冻坏的情况，基于该地区环境特点，提出余热利用系统防冻措施。

工作人员调查余热利用系统管道分布情况，在系统覆盖范围内使用保温材料铺设该区域，用于维持余热利用系统的温度，减少外界环境温度对系统的影响，即便系统处于停止运行状态，系统内积水也不会结冰。系统中安装的仪表，应采用电伴热方式维持仪表温度，确保仪表温度在可承受范围内，不会被低温冻坏而失去使用价值。确需停运余热利用系统时，工作人员应及时排放系统内污水，确认系统内无积水后再关停系统，以免系统内积水在低温环境下结冰^[5]。

3 燃煤电厂余热利用系统优化效果分析

本厂改进余热利用系统后，分析系统的节能减排效果，从节能效果与减排效果两方面分析优化后系统性能是否提高，确认该技术方案的可行性。本厂工作人员对不同工况下开展系统性能试验，试验结果如表3所述，根据性能试验结果确定，改造系统后，燃煤电厂热耗明显下降。

表3 投运前后系统热耗对比（单位 kJ/kWh）

机组	315MW	236MW
低省投	8024	8149
低省退	8067	8179

分析加装省煤器后余热利用系统消耗电能的变化，监测各种工况下本厂用电量，发现余热利用系统改造后，本厂用电量提高幅度均未超过0.05，不会产生较大影响。煤耗对比也是衡量余热利用系统运行效果的重要指标，100%工况下系统运行煤耗分别为低省投308、低省退309，75%工况下系统运行煤耗分别为低省投314、低省退315。通过对比发现，改进余热利用系统后，本厂每年耗煤量可减少2300吨左右，节能效果良好。

检测系统运行效果时还发现，改进余热利用系统后除尘器运行效率明显提升，除尘效率达到99.9%，烟气中灰尘明显减少。同时检测除尘器出口烟气成分，测得除尘后烟气中灰尘含量仅为每6mg/m³左右，排放烟气污染性下降。由此可见，该系统优化方案实际可行，能够实现改造余热利用系统的目标，减少本厂发电消耗的能源与排放的污染物，提高能源的利用率^[6]。★

参考文献

[1] 吴丹. 燃煤电厂低品位烟气余热回收及排放物控制的研究 [J]. 自动化应用, 2023, 64(17): 216-218+224.

[2] 林吕荣. 燃煤电厂烟气余热置换高品位热源技术研究 [J]. 中国设备工程, 2022(22): 45-47.

[3] 朱军超. 燃煤电厂烟气余热回收技术工程应用研究 [J]. 机电信息, 2022(13): 78-80.

[4] 董志坚, 叶学民, 等. 660MW 燃煤发电机组的碳捕集系统余热利用和集成系统性能评估 [J]. 太阳能学报, 2022, 43(07): 203-211.

[5] 印大伟. 浅析电厂燃煤锅炉烟气余热回收的优化利用 [J]. 中国设备工程, 2021(10): 111-112.

[6] 郝宇. 燃煤电厂烟气余热利用节能及环保技术分析 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2020(05): 68+70.