

# 电厂锅炉余热利用技术与经济效益分析

张鑫明

大唐(金华)清洁能源有限公司 浙江金华 321018

**摘要:** 随着经济的快速发展,对能源的需求量也在不断扩大。作为我国主要的能耗主体,电力部门的节能减排效果直接关系到我国的能源战略能否顺利实现。电厂锅炉在生产中产生了大量的余热,对其进行有效利用是提高其综合利用效率和降低单位能耗的重要途径。余热利用技术可在锅炉燃烧过程中将排出的余热进行循环再循环,达到能量的分级利用,从而达到节能减排和提高经济效益的目的。研究火电厂锅炉的余热回收工艺,提高其综合利用率,对于促进我国能源结构转型升级和可持续发展战略的实施,都有着重大的实际意义。文章主要介绍电厂锅炉余热利用技术并对其经济效益进行分析,希望促进电厂余热的有效利用。

**关键词:** 电厂锅炉;余热利用;经济效益

电力行业是重要的能源供应中心,它的能耗强度和利用效益对能源安全和生态环境具有重要意义。电厂锅炉是发电系统的核心设备,其发电转化产生的大量余热无法被有效利用,导致了巨大的能耗损失,已经成为提高发电效率的瓶颈。通过建立系统的余热资源循环与转换系统,对能量进行分级开发,既可以减少电能消耗,又可以通过二次开发获得直接的经济利益,是我国电力工业贯彻“绿色发展”思想的关键。

## 一、电厂锅炉余热利用技术的概述与意义

电厂锅炉余热利用技术,就是在电厂发电的同时,将其所产生的巨大的热能,经过一定的装置和工序,将原来被排出和浪费的热能加以回收,使之成为可以使用的能源<sup>[1]</sup>。在锅炉工作过程中,燃油通过自身的燃烧放出电能,其中一部分被用来生产电能,另一部分以高温烟气和热水的形式消散。余热利用的种类很多,比如用余热锅炉把烟气中的热量转换成水蒸气,驱动汽轮机产生电能。利用热交换器对凝结水和空气等介质进行加热,提高了电厂的综合热效率。根据余热性质、温度等级和电站的具体工作条件,对其进行合理的筛选和优化,建立完善的余热资源循环利用系统,能最大化能量利用效率,减少能量损失。

随着我国目前的能源状况和保护环境的需要,电厂锅炉的余热资源开发具有重要的现实意义,可以大幅度降低一次能耗,提高供电的可靠性。很多中低温余热没有被回收,而是被直接排出,导致了极大的能量消耗,而这些热量的高效开发是增大了潜在的能量供应。从环

境角度看,余热的有效利用有利于降低环境污染。

## 二、电厂锅炉余热利用技术的应用

### 1. 热泵回收余热利用技术

热泵回收余热利用技术是基于热力学循环的余热资源高效利用的新方法,具有显著的应用前景。其中,电驱动和蒸汽驱动两种模式,按照能量供应状况,构成个相互补充的使用体系<sup>[2]</sup>。电驱动压缩热泵采用电能作为动力源,由压缩机工作来实现热量传递。利用此技术过程中系统需要净赚计算并匹配蒸发器的换热面积,按 $50\sim 60\text{W}/\text{m}^2$ 换热量标准进行计算。在实际生产过程中, $35\sim 40^\circ\text{C}$ 的循环冷却水由蒸发器排出,降温到 $25\sim 28^\circ\text{C}$ 时再回流,吸热后被压缩为高温、高压气体,再与 $45^\circ\text{C}$ 采暖回水进行换热,将回水量提高到 $55\sim 60^\circ\text{C}$ 。该系统的操作条件是:在 $5^\circ\text{C}$ 以下的汽化温度和 $65^\circ\text{C}$ 的凝结温度下,保持螺旋型热泵系统的制热系数在 $3.2\sim 3.5$ 之间,并保持在设定的 $90\%$ 以上。以汽轮机抽气为能源的蒸气驱动型吸收式热泵机组,一般选择 $0.3\sim 0.6\text{MPa}$ 的压力蒸汽供入机组。该系统利用水蒸气凝结释放热量,利用热泵系统对 $30\sim 35^\circ\text{C}$ 的再生水进行吸附,使再生水由 $40\sim 70^\circ\text{C}$ 的温度升高到 $70^\circ\text{C}$ 为了保证供热效率,需要对水的质量分数保持在 $55\%\sim 60\%$ ,冷水入口的水温不高于 $32^\circ\text{C}$ ,保证供热效率在 $1.6\sim 1.8$ 之间。在此基础上,通过热力学的优化设计,达到废热回收的目的。

### 2. 热电联产集中供热技术

热电联供是指通过建立电厂和热力站之间的热量回收系统,以达到能量分级和提高供暖效能的目的。它打

破了常规供暖方式的限制,实现了热源和热量传输的闭环优化,实现了系统的热力匹配,达到了节能、增效的目的<sup>[3]</sup>。在电厂一侧,余热利用装置和主要机组构成了深耦合。该系统以汽轮机排出的余热为基本热源,经特殊的热交换器将热能引入一次供暖系统。根据电站的热工特点,选用高效率的管壳式或板式热交换器,以保证热源热的平稳输送。在此基础上,通过对热介质流动和温度的精确调控,使电站产生的废热和用热量达到均衡,从而解决能量消耗和供暖短缺之间的矛盾。并与烟气余热利用技术相结合,在供暖回路中加入了较低的热量,从而扩大了供暖的供应范围。热力站是供热系统中的一个重要环节,它是利用吸收换热单元来完成能源的有效转化。采用一次供水系统的高温热水作为动力,采用溴化锂水作为制冷介质,通过吸收器和蒸发器之间的换热来实现热交换。采用二级换热工艺,使一次网的回水经充分放出后,其内部的热量得到了极大的下降,从而实现了大温差的输送。该结构既可有效地改善管道的输送效果,又可减少循环泵对能源的要求。在系统的运作过程中,通过对网络的智能调节,达到了全局的协调和优化。

### 3. 凝汽抽汽背压式机组供热技术

凝汽抽汽背压式机组供热可通过改变蒸汽透平的工作状态,达到电、热耦合,是电站废热分级综合利用的一条重要途径<sup>[4]</sup>。此项新工艺打破了常规纯凝结方式的限制,通过对汽轮机高低缸进气的精确调节,使经过冷凝的蒸汽排出热量转换成有效热量,实现了对冷热源的有效利用。在工艺上,对蒸汽进口进行了适应性的改进,增加了抽汽阀和调压装置。在工作过程中,高、低压缸的开度随供暖需要而动态调节:在供暖过程中,逐渐关闭低压力缸的进汽阀,把大量的蒸气导入抽汽管中,从而使得蒸气在经过压力缸做功后,再送入供暖系统。在此基础上,通过改变运行方式,使蒸汽在高压段被优先使用,而中压段抽汽被专门提供给供暖,从而达到“产-热”的能源梯级开发循环。比如通过对600 MW机组的改进,增加了一个无级调整的抽汽阀,使其调整准确度达到了 $\pm 2\%$ ,并与压力控制装置相结合,可以对供暖用水量的变动做出准确的反应。在工作过程中,根据供暖需要,对高低压缸的开启进行动态调节:在供暖状态下,逐级关闭低压力缸的进汽阀,把80%以上的蒸气导入到抽汽管中,使得蒸气经过压力缸做功后再送入供暖系统。比如,在一个特定的运行条件下,将高压缸的进汽量由满载时的1000吨/小时调节到850吨/小时,并

将700吨/小时的蒸汽输送到抽汽管进行供暖。

### 4. 汽轮机低真空运行供热技术

汽轮机真空低温加热是一种新型的发电方式,可通过调节机组终端的热负荷来达到冷凝潜热的目的,突破了常规汽轮机为了提升发电效能而一味追求高真空的思路,通过对循环冷却过程中冷凝相变的积极提升,实现了“以热定电”的灵活操作<sup>[5]</sup>。该工艺实现的关键是对冷凝器进行适应性改造和操作参数的重新配置。对循环水系统的操作模式进行了改进,以减小冷凝水流量或减小制冷效果,从而实现了由传统的负压段向微正压区过渡的目的。在这种情况下,蒸汽在高温下发生冷凝,其所放出的相变热量可被采暖回路中的冷却水所吸附,并将其转换成热能。通过对冷凝换热器的强化管束和合理的流动通道,实现供暖水吸热与排气凝结有效耦合。比如,对300 MW汽轮发电机组进行了再循环水量由15000 m<sup>3</sup>/h减少到10000 m<sup>3</sup>/h,并取得了较好的效果。在这种情况下,蒸汽在高温下发生冷凝,其所放出的相变热量可被采暖回路中的冷却水所吸附,并将其转换成热能。通过对冷凝换热器的强化和流动通道的合理设计,实现冷凝换热与换热的有效耦合。

### 5. 锅炉排烟余热利用技术

将高效换热装置与排烟通道相结合,形成烟气热量分级循环利用体系,是提高机组效率的重要途径。采用新型高效节能节能装置,以解决燃煤机组在高温环境下产生的大量热量损耗为主要目标,降低系统能耗<sup>[6]</sup>。即将低压省煤器和空气预热器按顺序设置在机组的尾部烟道。低温省煤器为耐蚀翅片,通过对烟气流场进行合理的设计,将烟气温度由130~140度降低到90~100度,并将其循环利用,实现对蒸汽冷凝液的有效利用。在300 MW发电机组的技改中,采用低温省煤器进行了2500平方米的换热,使凝汽器的冷凝水温升高15~20℃,单台锅炉每年可获得1.2×10吨MJ以上的热能。通过对冷却后的废气余热对进入炉内的冷空气进行预热,达到室温(120~150℃)的效果,提高燃油的燃烧效果。在生产过程中,采用旁路烟道和温控装置对其进行动态调整,在烟气温度降至规定的临界值时,可进行开关操作,以防止换热器表面的结露和侵蚀。

## 三、电厂锅炉余热利用技术的经济效益

### 1. 节能降耗的直接成本节约

余热资源的最大经济效益在于其对能耗的源头管控,通过建立系统的废热资源回收系统,将原有损耗的

能耗再引入到产品链中，大幅减少燃油费用。采用烟气余热利用技术，将烟气中的烟气余热资源与烟气中的烟气进行耦合，构成了分级的热能循环网络，实现了对烟气温度的有效调控，提高了整个系统的热效率。该效能的提高将会使单位电能的燃料消耗下降，从而降低发电厂对一次用能的购买需求。蒸汽涡轮废热回收技术通过重新构建了系统的热动力通路，极大地减少了系统的冷热损耗。凝汽回汽反压型机组经运行条件的最优，使原有在冷凝器中被损耗的部分变为可用热量，从而达到了能量的分级开发。而小真空操作通过调节机组终端的参数，将冷凝潜热引入到供暖系统中，虽然会对机组出力产生一定的影响，但却可以通过能量使用方式的转变达到整体收益的提高。以300 MW的火电厂锅炉为实例，在进行了技改之前，其平均电耗为310 g/(kW·h)，其年发电量为240亿 kW·h，经过改造后，标煤耗降低到302 g/(kW·h)，按照年运行7000小时、煤炭价格650元/吨计算，年节约标准煤1.92万吨，直接燃料成本减少1248万元。采用蒸汽涡轮废热回收工艺可以减少水源损耗，从而达到节约能源的效益。对凝汽泵蒸汽背压式机组进行了改进，使其冷热损耗下降了80%左右，每年可节约标煤2.8 t，节约效益1820元。采用该工艺可减少5-8%的电力消耗，减少15-20%的热能消耗，提高12-15%的整体能量利用率，见表1。

表1 不同余热利用技术的节能效益

技术类型	装机容量 (MW)	改造前煤燃料耗 能 (g/kW·h)	改造后煤耗 (g/kW·h)
锅炉排烟余热利用	300	305	302
凝汽抽汽背压式供热	600	310	290
汽轮机低真空运行	300	305	300

## 2. 能源增值的收益提升效应

余热综合利用打破了传统的单种能量使用方式限制，扩展了多维度的能量使用范围，形成“基于节约的附加值”的发展模型。利用吸附式换热器在供暖网络上进行

大温差输送，既可减少管道损耗，又可大幅扩展供暖区域，实现了发电企业由单一发电企业向集成能源提供商转型，提高了企业的经济效益。蒸汽机余热利用可实现对余热的直接转换，扩大了发电能源的范围。烟气排出的热量对冷凝水进行了加热，降低了蒸汽量，使得更多的蒸气能被用来发电，从而提高了发电效率。

## 结束语

电厂锅炉余热综合利用技术是将余热资源进行系统的综合利用，达到节能增效和创造经济效益的技术。各种技术具有明显的优点：热泵-蒸散热利用技术降低冷热源损耗，烟气热回收提高装置效能，热电联供和大温差技术拓宽了能量服务范围。此类技术在节约燃油费用的同时，实现了节能增效和环境保护的协同增效。今后，伴随着科技的不断更新和政策的不断改进，需要对电厂多能源的整合进行深入的研究，加强多能源的协调，促进废热资源的高效利用，使其更好地服务于火电厂锅炉的节能减排和可持续发展。

## 参考文献

- [1]张赛君, 吕海鹏. 燃煤电厂锅炉连排水余热回收利用研究[J]. 煤炭科技, 2024, (06): 76-79.
- [2]陶永成, 刘永旭, 王泽鹏. 燃气机组烟气余热深度利用技术应用研究[J]. 电力勘测设计, 2024, (12): 82-87.
- [3]张赛君, 吕海鹏. 燃煤电厂锅炉连排水余热回收利用研究[J]. 煤炭科技, 2024, 45(06): 76-79.
- [4]李艳春, 卢迪. 利用垃圾电厂余热供热可行性分析[J]. 区域供热, 2023, (03): 106-111.
- [5]胡政. 燃煤锅炉烟气余热回收利用研究[J]. 能源与环保, 2023, 45(01): 221-227.
- [6]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.