

燃煤电厂烟气余热置换高品位热源技术研究

陈晓雨¹ 戚江平² 秦乐³

1. 身份证号: 654221199106084029
2. 身份证号: 652323197206132611
3. 身份证号: 659001198402281215

摘要: 现如今常规的一些余热利用回收技术在国内已经广泛的应用, 有些余热回收利用技术的节煤效果不明显, 节能减排的效果有限。如何深度回收烟气余热, 并且提高回收能源的品质, 成为了本文所研究的重点内容。本文通过研究获取引风机出口的低品位烟气余热来置换SCR出口的高温烟气余热, 通过能量的置换, 获取高品位的烟气余热用来加热锅炉的给水及汽机的凝结水, 进而节约高压加热器和低压加热器的高品位的抽气, 高品位的蒸汽可增加其在汽轮机中做功能力, 进一步降低燃煤电厂的煤耗, 达到深度节能减排的目的。

关键词: 燃煤电厂; 烟气余热; 置换; 高品位热源; 技术

Research on high grade heat source technology of flue gas waste heat replacement in coal-fired power plant

Xiaoyu Chen¹, Jiangping Qi², Le Qin³

1. Id number: 654221199106084029
2. Id Number: 652323197206132611
3. Id number: 659001198402281215

Abstract: Some conventional waste heat recovery technologies are widely used in China today, but the energy-saving effects of certain waste heat recovery and utilization technologies are not very pronounced, leading to limited reductions in energy consumption and emissions. How to deeply recover flue gas waste heat and improve the quality of the recovered energy is a key focus of this study. This paper aims to replace the high-temperature flue gas waste heat at the outlet of the SCR (Selective Catalytic Reduction) with low-quality flue gas waste heat at the outlet of the induced draft fan. Through this energy exchange process, high-quality flue gas waste heat is obtained for heating boiler feedwater and condensing water for the steam turbine. This, in turn, leads to savings in high-pressure and low-pressure heater energy consumption. The high-quality steam can enhance its functionality in the steam turbine, further reducing coal consumption in coal-fired power plants, thereby achieving deep energy savings and emissions reductions.

Keywords: Coal-Fired Power Plant; Flue Gas Waste Heat; Substitution; High Grade Heat Source; Technology

引言:

我国2020的社会能源消费结构中, 煤炭能源消费占比56.8%, 消费总量达到49.8亿t。虽然近几我国风电、

太阳能等清洁能源产业蓬勃发展, 但以社会主要能源消费形式的电能为例, 2021以燃煤为主的火电厂发电量仍然占据全社会发电总量的70%以上。当前, 我国明确提出了碳达峰、碳中和的双控战略目标, 给广大能源企业节能减排也提出了更高的要求, 在短期内无法改变以煤电为主的电力能源消费结构的情况下, 发电企业通过降低烟气温度, 充分利用锅炉烟气中的热, 是实现节能降耗、减少二氧化碳放最最有效的方法之一, 这对于锅炉效

兵团重点实验室项目: 能源污染物治理与节能降碳兵团重点实验室。

八师科技攻关项目: 燃煤烟气低位余热梯级回用技术研究及应用示范。

率的提高乃至整个电厂经济效的提升也十分重要。

一、燃煤电厂烟气余热置换高品位热源技术的意义

燃煤电厂烟气余热置换高品位热源技术的应用具有重要意义,既节约能源资源,减少污染物排放,又提高能源系统的效率和可持续性,推动能源转型与清洁能源发展。

1. 能源回收与利用

燃煤电厂烟气中含有大量的余热,传统做法是将其直接排放到大气中造成能源的浪费,而通过余热置换技术,可以将烟气中的热能回收并转化为高品位的热源,供给其他工艺或设施使用,如将烟气余热与供暖系统集成,将其作为供暖系统的热源,用于加热建筑物或城市供暖,通过该技术可以减少对传统的燃油、天然气等能源的需求,节约能源消耗^[1];将烟气余热引入工业过程中,用于加热工艺流程中的介质,如蒸汽、热水等,不仅可以提高工业生产的热效率,还可以减少额外的能源消耗,降低生产成本;将烟气余热转化为高温高压的蒸汽,用于带动发电机组发电,通过这种方式,可以提高燃煤电厂的发电效率和能源利用率,减少燃煤消耗的同时增加电力输出。

2. 减少温室气体排放

燃煤电厂是大气污染和温室气体排放的重要来源,燃煤电厂烟气中除了二氧化碳外,还含有其他温室气体,如二氧化硫(SO₂)、氮氧化物(NO_x)等,通过烟气余热回收利用,减少煤炭的燃烧量,可以间接减少这些温室气体的排放,改善大气环境质量。除此之外,还降低了对煤炭等传统能源的依赖,促进可再生能源的应用,可再生能源如太阳能、风能等不产生温室气体排放,通过与烟气余热技术结合使用,可以进一步降低电力系统的整体温室气体排放。

3. 提高能源系统综合效益

传统燃煤电厂中,大量的烟气余热直接排放到大气中,导致能源的浪费,通过烟气余热置换技术,可以将这些热能回收并转化为高品位热源供给其他工艺或设施使用,这样可以最大限度地提高能源的利用效率,有效降低热能的损失。烟气余热置换技术可以实现能源系统的优化与集成,通过将燃煤电厂的烟气余热与其他能源系统相结合,如蒸汽循环、供暖系统等,可以提高整体能源系统的效率和可靠性,有助于降低能源成本,提高能源供应的可持续性。

4. 推动清洁能源转型

燃煤电厂是传统的化石能源利用方式,而烟气余热

置换技术的应用推动了清洁能源的转型。通过有效利用烟气中的余热,减少对燃煤的依赖,可以加快向清洁能源领域(如可再生能源、核能等)的过渡。烟气余热置换技术的应用需要开发先进的热交换设备和系统,涉及热力学、管道输送等多个领域。这促进了相关技术的创新和发展,推动清洁能源转型的技术进步和成熟^[2]。此外,清洁能源领域的投资和研发也得以增加,进一步推动清洁能源技术的商业化和应用。

二、常规烟气余热回收利用技术类型

1. 烟气余热+暖风器技术

燃煤电厂在发电过程中,通过燃烧煤炭产生大量的烟气,烟气中含有高温的热能。为了实现这部分热量的回收再利用,需要在燃煤电厂的烟囱或烟气排放系统中设置烟气余热回收装置,例如烟气余热锅炉或烟气余热换热器,烟气余热回收装置将烟气中的热能转移到水或其他介质中,以产生蒸汽或热水,蒸汽或热水通过管道输送到暖风器系统,暖风器系统中包含一个热交换器,将热能从蒸汽或热水传递给通过暖风器的空气流,空气经过加热后变得温暖,并通过通风系统输送到需要加热的区域,例如建筑物、工业车间等,温暖的空气在目标区域内循环,提供舒适的室内温度。

燃煤电厂烟气余热与暖风器技术相结合,可以实现对烟气中的热能进行回收利用,并将其转化为温暖的空气供应,这样可以提高燃煤电厂的能源利用效率,减少环境污染,并为供热领域提供可再生的高品位热能。

2. 低温省煤器技术

低温省煤器是一种热交换设备,其工作原理基于烟气对流传热和升温的特性。烟气从锅炉燃烧室进入省煤器,经过其中的管束,同时空气通过管束外侧,通过对流传热,实现烟气与空气之间的热量交换,这样烟气中的部分热能被转移给了空气,使烟气温度下降,而空气温度升高。低温省煤器技术是一种用于提高燃煤电站热效率的技术,该技术通过在锅炉尾部安装省煤器设备来回收和利用烟气中的热能,以减少燃煤过程中的煤炭消耗。基于低温省煤器技术,燃煤电厂可以将烟气中的高温热能转移到供热或发电等其他用途中,提高整个燃煤电站的热效率,这不仅可以节约煤炭资源,降低燃煤产生的二氧化碳排放量,还能降低烟气中的颗粒物和硫氧化物等污染物的排放^[3]。

需要注意的是,低温省煤器技术虽然可以提高燃煤电厂的热效率,但其安装和运行成本较高,此外,低温省煤器设备需要定期清洗和维护,以确保其正常运行和

传热效果。

3. 烟气余热+加热热网回水

燃煤电厂烟气余热+加热热网回水是一种利用燃煤电厂烟气中的余热来加热热网回水的方法，在燃煤电厂的锅炉中，燃烧煤炭产生的烟气含有大量的热能，在传统的运行方式下，这些烟气通常被排放到大气中，导致热能浪费。借助烟气余热回收系统，可以将烟气中的余热用于加热热网回水，具体来说，烟气在锅炉内部燃烧后，经过烟气净化处理后进入余热回收系统，在该系统中，烟气通过换热器或烟气鼓风机等设备，与待加热的热网回水进行热交换，通过这种方式，烟气中的热能被转移到热网回水中，使其升温。烟气余热加热热网回水有助于提高燃煤电厂的热效率和能源利用率，通过回收和利用烟气中的余热，可以减少燃煤消耗，并降低对额外能源的需求，同时也有助于减少燃烧过程中产生的温室气体排放量，对环境友好。

烟气余热回收系统具体利用过程中，需要考虑系统的设计和运行参数，以确保热交换的效果和系统的稳定性，=定期的设备维护和清洁也是必要的，以确保系统的正常运行和有效热能转移。

4. MGGH

MGGH指的是燃煤电厂中的烟气-锅炉脱硫除尘系统(MGGH, Mist-Gas desulfurization and Dust removal system)，它是一种常用于燃煤电厂的污染物控制设施，主要用于减少烟气中的颗粒物和二氧化硫排放。MGGH系统通常由两个部分组成：脱硫和除尘。脱硫过程是通过喷射脱硫剂(例如石灰石浆)和烟气接触，使烟气中的二氧化硫与脱硫剂反应生成石膏或其他不可溶的硫酸盐，从而实现对二氧化硫的去除，除尘过程则是利用除尘器(例如静电除尘器、袋式除尘器等)将烟气中

的颗粒物捕集下来，以确保排放的烟气符合环境标准。MGGH系统在燃煤电厂中起到了重要的环保作用，它可以有效地去除烟气中的颗粒物和二氧化硫等有害物质，降低大气污染物排放，保护环境和人体健康，同时脱硫过程中生成的石膏可以被回收利用，具有资源化的优势^[4]。

需要指出的是，MGGH系统的性能和效果受到多种因素的影响，包括煤种、燃烧工艺、运行参数等，为了确保系统的正常运行和高效工作，对设备进行定期的维护和清洁是必要的。

三、低品位余热置换高品位热源的基本原理

在燃煤电厂的锅炉内，煤炭燃烧产生高温烟气，这些烟气含有大量的热能。通过布置于引风机出口的烟气余热换热器来吸收烟气中的余热，烟气在燃烧后被引风机抽出，通过烟气管道排放到大气中，在烟气管道上通常会安装引风机，用于提供必要的排烟压力。为了回收烟气中的余热，烟气管道上设置烟气余热换热器，这是一种换热设备，通常采用热交换器的形式，用于将烟气中的热能传递给介质(如水或蒸汽)，以实现热能的回收和利用。烟气在通过烟气余热换热器时与介质进行热交换，热能从烟气中传递到介质中，使介质升温，这个介质可以是循环水、蒸汽或其他工质。经过烟气余热换热器吸收烟气中的余热后，介质可以用于供暖、发电或其他热能需求，例如，热能可以转化为蒸汽，用于驱动汽轮机发电。

四、低品位余热置换高品位热源技术的案例研究

1. 机组设计参数

下面对某新建2×1000MW机组发电机组，对低品位余热置换高品位热源技术的应用及成效进行研究。该锅炉设计参数如下表1所示，机组的煤耗量约为255g/(kW·h)，继续降低煤耗的难度相对比较大。

表1 锅炉设计参数

| 参数 | 过热器 | | | 一次再热器 | | | 二次再热器 | | | 排烟温度 | 煤耗量 |
|----|------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|------|-------|
| | 蒸发量 | 压力 | 温度 | 蒸发量 | 压力 | 温度 | 蒸发量 | 压力 | 温度 | | |
| 单位 | t/h | MPa.g | ℃ | t/h | MPa.g | ℃ | t/h | MPa.g | ℃ | ℃ | t/h |
| 参数 | 2785 | 33.6 | 605 | 2468 | 11.1 | 623 | 2112 | 3.42 | 623 | 115 | 384.4 |

2. 分析方法

目前研究烟气余热的热力学方法主要是采用等效焓降法，等效焓降代表了流体在通过系统时由于摩擦、阻力和其他能量损失而引起的总能量损失，它表示为单位质量流体通过系统时能量的减少量。根据能量守恒定律，在稳态条件下，系统的入口总能量应等于出口总能量，这包括内能、动能和位能等各个方面的能量，通过对系统的入口和出口能量进行测量或估算，可以计算出系统中的等效焓降。根据计算得到的等效焓降，可以评估系统中的能量损失情况，较高的等效焓降表示更大的能量损失，可能需要进一步优化热工系统设计或操作条件。

量，这包括内能、动能和位能等各个方面的能量，通过对系统的入口和出口能量进行测量或估算，可以计算出系统中的等效焓降。根据计算得到的等效焓降，可以评估系统中的能量损失情况，较高的等效焓降表示更大的能量损失，可能需要进一步优化热工系统设计或操作条件。

因为是新建机组,可将修改空预器的设计参数,使空预器出口的排烟温度及空预器出口的一二次风温与原设计参数保持不变,空预器旁路的烟气量由暖风器侧所获得的热量确定,暖风器侧所获得的热量为引风机出口的烟气放热量^[5]。

3.空预器旁路高压省煤器出口烟温研究

利用高压省煤器回收高温烟气用于加热锅炉的给水,利用低压省煤器回收剩余的热量用于加热汽机的低加凝结水^[6]。高压省煤器的出口烟温的选择涉及较多因素。

(1) 烟气冷却程度;(2) 金属材料耐受温度;(3) 系统稳定性与可靠性。

本文选取了四个不同的高压省煤器出口烟温250℃、240℃、230℃及220℃进行分析。

结合纵向排数与高压省煤器的换热器面积等因素的考虑,推荐高压省煤器的出口烟温在230℃左右为宜。

4.系统节煤、节水效果分析

本系统高压省煤器出口烟温设计为230℃,同时将引风机温升引起的热量也一并回收进入系统,将烟气的余热吃干耗尽,达到深度余热回收的目的,本项目可节约3.3g/kW·h的煤耗耗量,及节约48t/h的耗水量。

五、结束语

总而言之,将烟气余热回收换热器布置于吸收塔前,将热量用来加热暖风器可以有效地利用余热资源,提高能源利用效率,减少环境影响,并节约运行成本,随着技术的不断发展和应用的推广,烟气余热回收换热器在工业领域具有良好的发展前景。

参考文献:

- [1]徐继松.燃煤电厂低品位烟气余热回收与排放物控制研究[D].广西大学,2022.
- [2]金军,关键,林志明等.燃煤电厂烟气余热二次回收节能效果研究[J].发电设备,2022,36(03):164-169.
- [3]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.
- [4]王昊.燃煤电厂烟气低温余热回收利用研究[J].内燃机与配件,2018(15):213-214.
- [5]田路泞,韩哲楠,董勇等.燃煤电厂湿烟气余热及水分回收技术研究[J].洁净煤技术,2017,23(05):105-110.
- [6]陈云峰.燃煤电厂烟气余热利用节能及环保技术研究[D].华北电力大学(北京),2017.