

# 钢铁冶金余热回收系统的优化设计与效益分析

张 科

安阳钢铁股份公司设备管理处 河南 安阳 455000

**摘要:** 钢铁冶金行业作为高能耗产业,其生产过程中产生的大量余热若不能有效回收利用,将造成能源浪费和环境污染。本文旨在深入探讨钢铁冶金余热回收系统的优化设计方案,包括技术选择、系统流程优化及设备选型与配置等方面,并通过具体案例分析其经济效益与环境效益,为钢铁企业实现节能减排、提高能源利用效率提供详细的理论依据和实践指导。

**关键词:** 钢铁冶金; 余热回收系统; 优化设计; 效益分析

## 引言

随着全球能源危机的加剧和环境保护意识的提高,钢铁冶金行业面临着巨大的节能减排压力。余热回收作为提高能源利用率的重要手段,已成为钢铁企业关注的焦点。本文将从优化设计角度出发,探讨如何更有效地回收和利用钢铁生产过程中的余热资源。

## 1 钢铁冶金余热回收的重要性与意义

### 1.1 能源浪费与余热资源

在钢铁冶金生产过程中,从高炉炼铁到转炉炼钢,再到轧钢等各个环节,都会产生大量的余热。这些余热资源如果得不到有效利用,就会造成极大的能源浪费。据权威统计数据显示,钢铁冶金行业的余热资源竟然约占其燃料消耗总量的30%-50%。这意味着,有相当一部分能源在转化为产品之前,就以余热的形式散失掉了。因此,如何有效回收利用这些余热,成为提高钢铁冶金行业能源利用效率的关键。通过科学的余热回收技术,我们可以将这些原本被浪费的能源转化为有用的热能,重新投入到生产过程中,从而显著降低生产成本,提高经济效益。

### 1.2 环境保护与可持续发展

传统的钢铁冶金生产方式往往伴随着大量的废热排放,这些废热不仅浪费了能源,还对环境造成了严重污染。而余热回收技术的出现,为钢铁冶金行业提供了一个减少废热排放的有效途径。通过回收利用余热,企业可以减少对新鲜能源的需求,进而降低二氧化碳等温室气体的排放量。这不仅符合国家的环保政策要求,更是实现可持续发展的重要举措。

## 2 钢铁冶金余热回收系统的优化设计

### 2.1 余热回收技术选择

钢铁冶金过程中产生的余热资源种类繁多,针对不同类型和特性的余热,应选择最适宜的回收技术。对于

高炉烟气余热,其温度通常可达几百至上千摄氏度,且流量相对稳定。因此,可采用余热锅炉来回收这部分余热,产生蒸汽用于发电或供热。在选择余热锅炉时,需综合考虑其蒸发量、压力、温度等关键参数,以及锅炉的热效率、运行稳定性、维护方便性等因素。高效节能的循环流化床锅炉因其良好的燃烧适应性和高效的热交换性能,成为高炉烟气余热回收的优选方案。在具体设计中,可以优化锅炉的受热面布局,如增加对流受热面的面积,提高烟气与工质的换热效率。同时,采用先进的燃烧控制技术,如氧量控制、风煤比调节等,确保锅炉的稳定运行和高效燃烧<sup>[1]</sup>。对于轧钢过程中产生的余热,其温度相对较低,但流量较大。这部分余热可以采用热管换热器进行回收,用于预热助燃空气或加热工艺介质。热管换热器具有传热效率高、耐压性能强、耐腐蚀性好等优点,特别适用于高温、高压、腐蚀性环境。在轧钢余热回收系统中,可以根据具体的工艺要求和余热特性,选择合适的热管换热器类型和规格。例如,对于高温轧钢余热,可以选择金属热管换热器;对于含有腐蚀性介质的轧钢余热,可以选择陶瓷或玻璃热管换热器。同时,考虑热管换热器的安装位置和方式,确保其与其他设备的协调配合,方便维护和检修。对于烧结环冷机产生的余热,其温度适中,但含有大量粉尘。这部分余热可以采用余热回收系统将其转化为蒸汽或热水,用于发电或供热。在设计系统时,应充分考虑烟风系统的取风、回风方式及烟风道保温形式等。为了确保烟气的均匀分布和高效回收,可以采用切线取风方式,并设置导流板来引导烟气流动。同时,为了减少热损失,烟风道应采用有效的保温措施,如敷设保温材料或采用双层烟风道结构。此外,还需要设置有效的除尘设施,如电除尘器或布袋除尘器,以确保回收的余热符合环保要求。

### 2.2 系统流程优化

通过优化余热回收系统的流程设计,可以进一步提高余热回收效率,并降低系统能耗。在烧结环冷机余热回收系统中,可以采用双烟气进气单压系统或单烟气进气单压系统。双烟气进气系统可以充分利用烧结环冷机的前后两段烟气余热,提高余热回收效率。在具体实施时,可以设置前后两段烟气进口,分别回收不同温度段的烟气余热。同时,通过优化烟风系统设计,如采用合理的取风、回风方式以及有效的烟风道保温形式,进一步减少热损失。例如,可以采用回风罩来收集环冷机排出的热风,并通过风道将其引入余热锅炉或热管换热器进行热交换。在高炉烟气余热回收系统中,可以采用预热助燃空气的方式来提高余热利用效率。通过预热助燃空气,可以降低高炉燃料的消耗,同时提高高炉的生产效率。在具体实施时,可以设置预热器将高炉烟气中的热量传递给助燃空气。预热器可以采用管式或板式结构,根据具体的工艺要求和烟气特性进行选择。同时,为了优化高炉的操作参数和燃烧方式,可以调整风量、风温和煤粉粒度等参数,进一步提高余热回收效率。此外,还可以通过整体优化系统流程来提高余热回收效率。例如,可以合理安排余热回收设备的布局 and 连接方式,减少管道长度和弯头数量,降低系统阻力。在设备布局时,应考虑设备的操作、维护和检修方便性,以及管道的连接和支撑方式<sup>[2]</sup>。同时,可以采用高效的换热器和传热元件,提高换热效率。例如,可以采用螺旋翅片管或波纹管等高效传热元件来增强换热效果。此外,还应设置合理的控制系统和监测仪表,实现系统的自动化运行和远程监控。通过控制系统可以实时监测系统的运行状态和参数,如温度、压力、流量等,并根据需要进行调节和控制。

### 2.3 设备选型与配置

余热回收设备的选型与配置也是优化设计的重要环节。在余热锅炉的选型上,应综合考虑其蒸发量、压力、温度等参数以及锅炉的热效率、运行稳定性、维护方便性等因素。同时,还需要考虑锅炉的耐磨性、耐腐蚀性以及烟尘处理设施等。对于高炉烟气余热锅炉,由于烟气中含有大量的粉尘和腐蚀性气体,应选择具有耐磨性和耐腐蚀性的材料制造锅炉受热面,如采用耐磨合金钢或陶瓷涂层等材料。同时,应设置有效的除尘设施和脱硫装置,如电除尘器、布袋除尘器和石灰石-石膏法脱硫装置等,确保锅炉的长期稳定运行和符合环保要求。在热管换热器的选型上,应重点考虑其传热性能、耐压性能、耐腐蚀性能以及安装维护方便性等因素。对于高温、高压、腐蚀性环境,应选择具有高强度、高耐

腐蚀性的热管换热器,如采用陶瓷或金属陶瓷复合热管等。同时,还需要根据具体的工艺要求和操作条件来选择合适的热管换热器类型和规格,如确定热管的长度、直径和翅片形式等参数。在安装和维护方面,应考虑热管换热器的安装位置和方式,确保其与其他设备的协调配合和方便维护检修。在系统配置方面,应充分考虑设备的布局、管道的连接方式以及控制系统的设计等。合理的设备布局可以减少管道长度和弯头数量,降低系统阻力;同时方便设备的操作、维护和检修。例如,可以将余热锅炉、热管换热器和除尘设施等布置在靠近热源的位置,减少管道输送过程中的热损失。合理的管道连接方式可以确保系统的密封性和稳定性;避免泄漏和故障发生<sup>[3]</sup>。例如,可以采用法兰连接或焊接连接等方式来确保管道的密封性和稳定性。先进的控制系统可以实现系统的自动化运行和远程监控;提高系统的运行效率和可靠性;同时减少人工操作和干预。例如,可以采用PLC或DCS等控制系统来实现系统的自动化控制和远程监控功能。

## 3 钢铁冶金余热回收系统的效益分析

### 3.1 经济效益

通过余热回收系统的应用,钢铁企业能够显著降低能源消耗,进而降低生产成本,提升企业的盈利能力。以某具体钢铁企业为例,该企业决定对高炉烟气余热回收系统进行全面改造。改造前,高炉烟气中的大量余热直接排放到大气中,造成了能源的极大浪费。改造后,通过安装高效的余热锅炉和发电设备,将高炉烟气中的余热转化为电能和蒸汽,实现了能源的有效利用。据统计,该系统改造后,企业年节约标准煤约5万吨。按照当前煤炭市场价格计算,这相当于为企业节省了数千万元的煤炭采购费用。同时,由于减少了煤炭的燃烧,企业年减少二氧化碳排放约12万吨,这不仅符合国家的环保政策,也为企业赢得了良好的社会形象。此外,余热发电系统年发电量可达1亿千瓦时以上,这部分电能不仅满足了企业自身的用电需求,还可以余电上网,为企业带来额外的电费收入。除了直接的经济效益外,余热回收系统的应用还提高了企业的能源利用效率,降低了单位产品的能耗,从而增强了企业的市场竞争力。在激烈的市场竞争中,这成为企业脱颖而出的重要因素之一。

### 3.2 环境效益

余热回收技术的应用在环境保护方面产生了显著的效果。通过回收和利用余热,减少了废热的排放,有效降低了企业的二氧化碳排放量。以该企业为例,年减少二氧化碳排放约12万吨,这对于缓解全球气候变暖、实

现碳中和目标具有重要意义。同时,余热回收技术还减少了其他有害物质的排放。高炉烟气中含有大量的二氧化硫、氮氧化物等有害物质,这些物质排放到大气中会造成严重的空气污染。通过余热回收系统,这些有害物质在燃烧过程中得到了有效的控制和处理,减少了它们对环境的危害<sup>[4]</sup>。此外,余热回收技术的应用还促进了企业环保意识的提高。企业开始更加注重节能减排、绿色发展,积极采取各种措施降低环境污染,保护生态环境。这不仅符合国家的环保政策,也为企业赢得了良好的社会声誉。

### 3.3 社会效益

通过余热回收技术的应用,钢铁企业提高了能源利用效率,降低了生产成本,增强了市场竞争力。这为企业带来了更多的订单和市场份额,促进了企业的快速发展。同时,企业的成功也为其他钢铁企业树立了榜样,推动了整个行业节能减排技术的推广和应用。此外,余热回收技术的应用还为企业创造了更多的就业机会。随着系统的运行和维护,需要专业的技术人员进行操作和管理,这为企业提供了更多的就业岗位。同时,余热回收技术的研发和应用也促进了相关产业的发展,如设备制造、技术研发等,进一步拉动了就业和经济增长。

### 4 案例分析:首钢京唐烧结环冷机余热蒸汽回收技术改造

首钢京唐钢铁联合有限责任公司一期工程配备了2台500m<sup>2</sup>的烧结机,这些机器在生产过程中会产生大量的余热,这些余热通常随环冷机的废气一起排放,实际上具有相当高的回收利用价值。然而,由于技术的不断进步,烧结机自用的蒸汽量已经显著减少,导致现有的余热回收装置产生的低压蒸汽出现了过剩,大部分无法得到有效利用,只能被迫放散。同时,烧结环冷机的烟气中还含有大量的粉尘,加之旧余热回收系统运行时间较长,存在锅炉管道磨损和积灰的问题,导致系统效率下降,亟需进行升级改造。针对上述问题,首钢京唐公司实施了烧结环冷机余热蒸汽回收技术改造。改造后的系统采用先进的余热回收技术,将烧结环冷机产生的余

热转化为蒸汽,用于发电和供热。通过优化系统设计和设备选型,显著提高了余热回收效率。改造后的系统投入运行后,取得了显著的经济效益。年发电量可达 $6\times 10^8$  kWh/a,年供热量可达162500吨。根据当地电价和供热价格计算,年发电收益和供热收益合计可达数千万元。此外,通过回收余热减少燃料消耗,年节约燃料成本可达数百万元。综合考虑各项收益,改造项目的直接经济效益可达11180万元。余热回收系统的应用还能显著减少温室气体排放和污染物排放。以首钢京唐烧结环冷机余热蒸汽回收技术改造为例,每年可减少二氧化碳排放约4000吨,减少二氧化硫排放约45.5吨,减少氮氧化物排放约43吨。这些减排量对于改善环境质量、缓解全球气候变暖具有重要意义。

### 结语

钢铁冶金余热回收系统的优化设计与应用具有显著的经济效益和环境效益。通过选择适宜的回收技术、优化系统流程设计以及合理配置设备选型,可以显著提高余热回收效率,降低能源消耗和污染物排放。未来,随着技术的不断进步和政策的持续推动,钢铁冶金余热回收系统将迎来更加广阔的发展前景。钢铁企业应积极采用先进的余热回收技术和管理模式,推动行业的绿色可持续发展。同时,政府也应加大对钢铁冶金余热回收技术的支持和推广力度,为钢铁企业的节能减排工作提供有力的政策保障和资金支持。

### 参考文献

- [1]范金龙.钢铁企业余热余能回收利用措施研究[C]//中国金属学会.第十四届中国钢铁年会论文集—11.节能与低碳技术.中冶南方工程技术有限公司,2023:6.
- [2]孙文龙.钢铁企业余热余能回收利用措施研究[J].皮革制作与环保科技,2022,3(02):157-158+164.
- [3]柯菲,高雅莹,张倩,等.钢铁企业余热资源回收利用技术现状综述[J].机电信息,2021,(19):62-65.
- [4]王铁民,郭朋.钢铁企业余热利用优化运行实践与探索[J].冶金动力,2019,(12):6-9.