

氢氧化铝气态悬浮焙烧炉

烟气余热利用工业实践经济价值

柴洪云（国家电投集团贵州遵义产业发展有限公司，贵州 遵义 564303）

摘要：本文介绍了氢氧化铝焙烧炉余热回收供热一体化技术以及某企业的实施情况。详细叙述了余热回收供热一体化工艺流程、热网站供热工艺流程、热网补给水处理系统等。对非采暖期余热回收系统的设计、烟气污染防治措施和对企业生产的影响进行了论述和说明。该工艺技术经过5个取暖季的实际运行，实现了烟气显热和潜热的高效回收与利用，实现了节能和减碳，取得了较好的经济效益和社会效益。

关键词：氢氧化铝焙烧炉；烟气；余热回收；经济效益；经济价值

1 绪言

国家电投集团山西铝业有限公司（以下简称山西铝业）现有氧化铝产能260万t/a，共有6台氢氧化铝焙烧炉，单台焙烧炉烟气量210000m³/h，烟气温度约150℃排向大气。烟气中的水蒸汽体积含量大于43%，排出的烟气将带走大量的潜热和显热。对焙烧炉烟气余热加以有效的回收利用，将会获得很好的节能节水减排效果。但该烟气的潜热由于热量大（潜热占总热量约90%）、回收的热水温度低（直接用循环水冷却约73℃），在氧化铝生产过程中消纳困难，制约了烟气潜热的回收。

山西铝业地处中国北方，冬季城市居民家庭供暖时间长达150天，当地供暖部门每年消耗大量的燃煤进行供暖。山西铝业采用焙烧炉余热回收供热一体化技术，很好的解决了回收余热用于城市集中供暖的问题，实现企地双赢，取得显著的经济效益和社会效益。

经过5个供暖季的运行，设备运行平稳，技术成熟可靠，为低温烟气热能的利用开辟了一条新途径，具有广泛的应用推广价值。

2 焙烧炉余热回收技术应用

余热回收技术核心是采用开放式吸收热泵技术，实现对烟气进行深度净化（深度除尘、深度除湿），回收烟气中汽化潜热和水，将环保技术与节能技术融为一体。

烟气余热回收采用具有强烈吸湿性的无机盐溶液在低温能量转换器内直接喷淋烟气，脱除烟气中水分、硫份、粉尘，变为洁净干烟气排出，工艺确保排烟温度不至于过低而影响烟气的抬升力和扩

散速度；烟气中水蒸气被溶液吸收，释放出汽化潜热，无机盐溶液吸收烟气潜热、烟气显热和溶解热，最终利用高温无机盐溶液去加热生产用水（一次管网水），此过程实现烟气净化与余热回收。如图1。

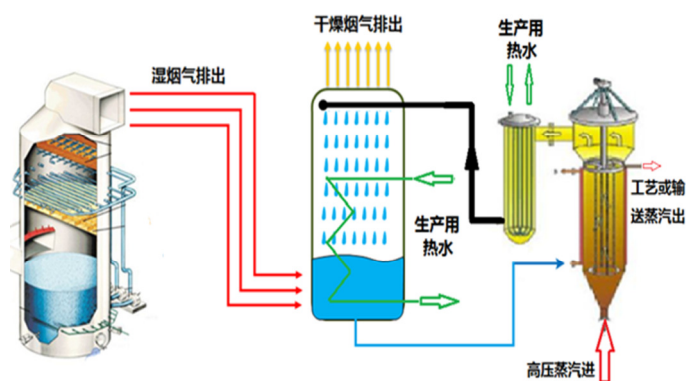


图1 焙烧炉烟气余热回收原理图

3 焙烧炉余热回收供热一体化技术实施情况

3.1 供热热负荷

①原平市市区共有人口15万人，总供热面积为600多万m²；此外，还有拟建及在建供热面积约317万m²；

②供热负荷及供热量，按照原平市政府的要求，山西铝业公司面向城北区域供热，为集中供热提供基本热负荷，供热负荷167.2MW，按照采暖时间150天计算，年采暖供热量为216万GJ，实现供热面积400万m²（采暖热指标按41.8w/m²计）。

3.2 余热回收供热一体化工艺

3.2.1 余热回收利用系统

①烟气流程。湿烟气进入低温能量转换器，经

过余热回收装置吸收,脱除烟气中水分,粉尘,变为洁净干烟气排出;烟气中水蒸气被溶液吸收,释放出汽化潜热;

②驱动蒸汽流程。从电厂引蒸汽管路 0.7MPa 蒸汽,作为余热回收供热改造系统的驱动热源,将稀溶液浓缩至浓溶液,蒸汽冷凝水回锅炉补水;

③一次管网热水流程。热网站输出 55℃ 的一次管网回水进入余热回收供热系统加热至 95℃ 供给热用户;

④溶液循环。低温能量转换器中稀溶液经过分离烟尘、脱除生成产物后进入发生系统,进行浓缩变为浓溶液,最后进入低温能量转换器中继续循环喷淋烟气;

⑤溶液净化及分离流程。烟气从低温能量转换器的底部进入,在低温能量转换器内与喷淋溶液直接接触,吸收烟气中的水蒸气,水蒸气所携带的汽化潜热同时被溶液吸收,此过程中回收的烟气中水蒸气的汽化潜热被利用加热一次管网水。进入低温能量转换器的烟气被喷淋的溶液进行逆向洗涤,烟气中的粉尘被吸收到溶液中,溶液经过多级旋流后被送入真空皮带脱水机,脱除废渣后,清液继续回到系统中进行循环。废渣为氢氧化铝,作为原料重新送入生产线。

经处理后的循环溶液由泵送入发生器,在外界高温蒸汽的驱动下,在汽液分离器中进行汽液分离,分离出来的二次蒸汽经冷凝器后进入冷凝水箱;高温溶液与进入发生器的低温溶液进行换热后继续加热一次管网水后进入低温能量转换器中喷淋。溶液吸收烟气中的粉尘形成固体不溶物主要通过两级旋流及真空皮带脱水机固液实现分离。

3.2.2 热网站输送供热工艺

供热蒸汽从自备电厂低压蒸汽母管接出,蒸汽参数为 0.7MPa、170℃。供热蒸汽经两台热网加热器换热后,降低到约 100℃,经疏水泵送至自备电厂低压除氧器,供热功率 88MW。热网循环水供、回水温度 95/55℃。

①热网站供热系统采用 2 台热网加热器。当 2 台加热器同时运行时,可满足 1.5 倍的蒸汽供热能力。当 1 台加热器停运,另一台可满足 0.75 倍的热负荷;

②热网循环水系统采用一级换热闭式循环、间接供热方式,以水为热媒。热网循环水经热网循环水泵升压后,进入热网加热器吸热,水温由 55℃ 升至 95℃,然后进入供热管网供给热用户。

3.3 供热的保障实施方案以及对氧化铝生产的影响

①供热系统中供热首站设有汽水换热器做为烟气余热回收系统的备用装置,且两套系统相互间可实现在线切换。不会对氧化铝生产造成影响;

②锅炉故障时,在 8h 内启动备用锅炉做为备用热源,如备用锅炉在检修状态,则在保证电网安全稳定的基础上减少抽凝机组负荷。在减少发电量后还不能满足供热需求时相应减少氧化铝供汽;

③汽轮机组发生故障时,加大其他运行中发电机组至满出力,不足的余量投低温低压减压泵来补充,不会对氧化铝生产造成影响;

④每 3 台焙烧炉设置一套烟气余热回收供热系统,全厂共 2 套,每套可实现供热 300GJ/h,共 600GJ/h,当其中一套装置出现故障停运时,剩余 67.5t/h 低压蒸汽可通过供热首站热网加热器实现 150GJ/h 供热量,共计 450GJ/h,为最大供热量的 75%。

3.4 热网补给水处理系统

3.4.1 热网补给水处理系统的选择

根据 CJJ34-2010《城镇供热管网设计规范》及 GB/T12145-2008《火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量》,热网补水水质满足表 1 的要求:

表 1 热力网补给水水质要求

项目	单位	要求
浊度	FTU	≤ 5.0
硬度	mmol/L	≤ 0.60
溶解氧	mg/L	≤ 0.10
油	mg/L	≤ 2.0
pH (25℃)		7.0~11.0

热网补给水处理系统工艺流程:来沉淀后的水→自清洗过滤器→钠离子交换器→软水箱→软水泵→热网补水。

热网补给水系统的正常出力为 40t/h。自清洗过滤器、钠离子交换器、软水泵等一运一备。当热网第一次充水时,两套设备可同时运行,最大出力为 80t/h。

3.4.2 系统连接及运行方式

自清洗过滤器、钠离子交换器、软水泵均采用并联连接。热网补给水系统中的自清洗过滤器、钠离子交换器、软水泵等的运行程序自动控制,能实现各设备的投运、停止和反洗或再生、自动加饱和 NaCl 程序、自动/半自动启动备用设备程序等,

工业盐为手动投加。

3.5 非采暖期余热回收系统

在非供暖季,利用设施加热全厂赤泥洗水(含烧结法)、蒸发二次水、电厂废水、赤泥回水、中水及废水等,混合后冷水温度 40.5℃。设计能力可将 1330t/h 混合冷水提温至 73~75℃,预计非供暖季可回收烟气余热 82 万 GJ。提温后的水与溶出二次高温水混合,得到 1930t/h 85℃赤泥洗水,再经溶出水冷器提温至 95℃用于赤泥洗涤。

3.6 烟气污染防治措施

采用烟气深度净化余热回收一体化技术去除烟气中粉尘,烟气中粉尘含量 $\leq 10\text{mg}/\text{Nm}^3$,满足《铝工业污染物排放标准》(GB25465-2010)的要求。6台焙烧炉,每3台焙烧炉设置1套烟气余热利用系统,共设2套烟气余热利用系统。每套装置的烟气系统应满足3台焙烧炉可任意切换。湿烟气经过余热回收装置吸收,脱除烟气中水分,粉尘,变为洁净干烟气从低温能量转换器顶部烟囱排出;烟气中水蒸气被溶液吸收,释放出汽化潜热。共设两座烟囱,每座烟囱高度为50m。安装烟气在线连续监测装置,以监控烟气中污染物排放情况,以及含氧量、烟气温度、压力、湿度等辅助参数测量,为运行管理和环境管理提供依据。

4 运行效果及经济效益评价

系统主要设备低温能量转换器的运行参数达到保证值,设备运行稳定可靠(见表2:低温能量转换器设备运行参数对比表)。

表2 低温能量转换器设备运行参数对比表

项目	烟气余热回收					
低温能量转换器设备运行参数	型式		烟量 (Nm^3/h)		直径 (m)	
	性能保证值	实际值	性能保证值	实际值	性能保证值	实际值
	喷淋塔	喷淋塔	240000	240000	9.0/3.0	9.0/3.0
	SO_2 浓度 (mg/Nm^3)		粉尘浓度 (mg/Nm^3)		压力 (kPa)	
	性能保证值	实际值	性能保证值	实际值	性能保证值	实际值
	10/0	10/0	50/5	50/5	常压	常压
	高度 (m)		数量 (台)		温度 ($^{\circ}\text{C}$)	
	性能保证值	实际值	性能保证值	实际值	性能保证值	实际值
	27/49	27/49	2	2	150/90	150/90

本项目6台焙烧炉通过余热回收供热一体化工艺流程,以水为热媒,将55℃的回水加热至75~80℃供给热用户(供热首站以热水的形式将热量输送给供热公司,供热公司降低了供热指标)。设

计年供热量为216.00万GJ,目前实际供热量达到174.67万GJ。经过5个换热季的运行,设备总体运行平稳,客户反映良好。5个供暖季共计净回收节能热量为433.64万GJ,每年创收两百万元以上,烟气实现洁净排放,经济和社会效益显著。同时,减少了热量的排放,减轻了环境污染,累计减少碳排放65.6万 $\text{t CO}_2/\text{tce}$ 。

表3 山西铝业历年热量回收及供热量统计表

	年回收热量 (GJ)	年供热量 (GJ)
2017 年	689937.5	1301854
2018 年	865273.8	1612856.4
2019 年	810825.3	1555787.2
2020 年	868946.2	1585451.6
2021 年	1101460.9	1746681.5

5 利用成果

2004年我国国家发改委颁布的《节能中长期发展规划》中已经将余热利用工程作为“十大重点节能工程”之一。按照《中国能源统计年鉴2009》提供的各行业的能源消费以及各个工业部门的余热占燃料消耗的比例计算,我国的工业余热资源高达8亿t标煤,占据我国总能源耗约30%。因此,实现余热有效利用对我国工业节能有着重要意义。本项目采用余热回收供热一体化技术实现对烟气余热的深度利用,充分回收烟气中的显热和潜热,提高能源的综合利用效率,达到节能减排的效果。

经过5个换热季的运行,设备运行参数与保证值一致,设备整体运行平稳,能源的综合利用效率高,节能减排效果明显,取得了较好的经济效益和社会效益。该技术为我国低温外排烟气的余热利用开辟了一条新的途径,实现企业节能减碳,具有较大的推广使用价值。

参考文献:

- [1] 杨重愚. 氧化铝生产工艺学 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1982.
- [2] 白雪磊. 采暖热指标与建筑耗热量采暖煤耗量计算比较 [J]. 技术应用, 2016.
- [3] 马平乐, 赵丽君. 锅炉小指标对机组煤耗和热效率的影响及分析 [J]. 热电技术, 2016(1).

作者简介:

柴洪云 (1974-), 男, 汉族, 山西河津人, 本科, 工程师, 主要从事有色金属冶金研究。