

水泥回转窑系统优化改造及余热发电效率提升路径研究

张 斌 杜俊杰

焦作千业水泥有限责任公司 河南 焦作 454100

摘要：随着“双碳”目标的临近，水泥企业都在积极补短板、强弱项，进一步降低能耗指标，提高各类资源的有效利用率以及回收率。焦作千业水泥有限责任公司通过一系列措施，使吨熟料余热发电量由28kwh提高到32kw以上，降低了企业的成本以及碳排放量，取得了良好的效果。

关键词：水泥；熟料；余热；工艺参数

对于水泥企业来讲，“双碳”目标是迫在眉睫的难题。就目前来讲，控制碳排放最有效的方法是降低煤耗，尽可能提高煤炭的热能利用率。余热发电是利用水泥熟料生产过程中多余的热能转换为电能的技术，其不仅可以满足国家的节能减排要求，给企业创造直接经济效益，也是降低企业生产成本和碳排放量的有效途径。焦作千业水泥有限责任公司（以下简称“我公司”）熟料二分厂自投产以来，余热发电量一直处于较低的水平，吨熟料发电量在28kwh徘徊。随着水泥行业下行压力增大以及“双碳”目标的临近，我公司围绕如何提高发电量开展了一系列的工作，通过不断交流、摸索，优化系统参数等，终于取得了较大的突破。2023年10月以来熟料二分厂吨熟料发电量提高到32kwh以上（见表1），达到建厂以来最高。现将提高余热发电量所采取的措施总结如下：

表1 实施前后运行数据对比表

项目	窑台时产量 (t/h)	SP进口温度 (℃)	AQC进口温度 (℃)	二次风温 (℃)	吨熟料发电量 (kwh)
改造前	256	300	350	1050	28
改造后	259	325	380	1120	34

1 稳定回转窑系统：筑牢余热发电基础

回转窑系统的长期稳定运行是余热发电高效产出的前提，烧成工艺波动会直接导致余热参数紊乱，大幅降低发电效率。为此，公司建立全流程工艺管控体系：从原燃料进厂检验入手，严格把控原料成分与燃料热值；优化生料配料方案，确保入窑生料均化度；强化烧成过程动态控制，精准调节窑速、喂料量与燃烧参数，实现窑系统高产、优质、高效运行，为余热回收提供稳定的热源保障。^[1]

2 提高 SP 炉进口温度：挖掘窑尾余热潜力

回转窑系统分别通过AQC炉和SP炉在窑头和窑尾搜集水泥窑的余热进行发电。要想提高余热发电量，一是提高余热发电锅炉的进口压力，二是提高余热发电锅炉

的进口温度。窑尾SP炉的特点是在窑系统正常运行的情况下，进口的压力和温度都比较稳定，发电效率较高，如能提高其进口压力和温度可以更有效地提高发电量。而SP炉进口压力由窑投料量及高温风机拉风量决定，在窑产量一定时，高温风机拉风量一般不作调整，所以，提高SP炉的进口风压可调整空间不大，唯有从提高SP炉进口温度入手，以提高发电效率。公司自SCR系统投运后，入SP炉温度降低了15℃左右，制约发电效率。为了解决这一问题，我公司充分利用热生料脱硫改造的C1管路（见图1），通过适当开启预热器脱硫系统C1管道阀门，以提高SP炉进口温度。阀门开度由原来10%调整到现在20%，SP炉进口温度也由300℃左右提高到325℃左右，提高了25℃。调整后，窑系统运行正常，发电量有了明显提升。由于脱硫管道管径较小，抽取风量比例不大，基本上对分解炉用煤未造成影响。

但调整过后，由于回灰量增大，窑尾回灰系统设备不能满足输送量，造成现场冒灰情况严重，因此我公司又对回灰系统设备进行优化改造，在回灰拉链机上下部料管进料口位置加装两个集料箱，料下多的时候一部分料存与集料箱里，缓解拉链机走料，使这一问题得到基本解决，为提高窑尾锅炉进口温度创造条件。



图1 为热生料脱硫改造的C1管路

3 优化 AQC 炉进口温度：提升窑头余热回收效率

AQC炉进口温度和压力受窑工况、篦冷机料层厚度、篦冷机冷却风机鼓风量以及煤磨系统用风等多重因素影响，波动较大，对发电效率影响也非常大。公司通过对煤磨用风管道改造及篦冷机系统各项参数优化调整实现AQC温度提高，发电量提升。^[2]

3.1 煤磨取风工艺优化

煤磨作为水泥窑系统中一个极为重要的工艺步骤，在水泥工艺中起到举足轻重的作用，同时，也是水泥窑系统大量热能损耗的一个重要环节，所以对其相应工艺进行优化，是极为有必要的。我公司原煤磨烘干热风取

风口位于篦冷机一段篦床尾部，与余热发电AQC高温热风管取风口位置相对，存在“争风”现象，而煤磨工艺所需要的温度远小于篦冷机一段所提供的温度（篦冷机二段温度可满足煤磨所用热风温度需求），这种取风设计造成煤磨热风管进口温度过高，而AQC炉进口温度偏低，二次风温不足（仅1050℃左右）。因此，我公司对煤磨热风取风口位置进行了改造，将取风口改至篦冷机二段AQC旁路风管上，并将连接风管管径从800mm扩大至1500mm，同时关闭篦冷机一段原取风口热风阀门，改造后既满足煤磨用风需求，又增加发电机组高温风量，同时将二次风温提升至更高水平，效果明显。

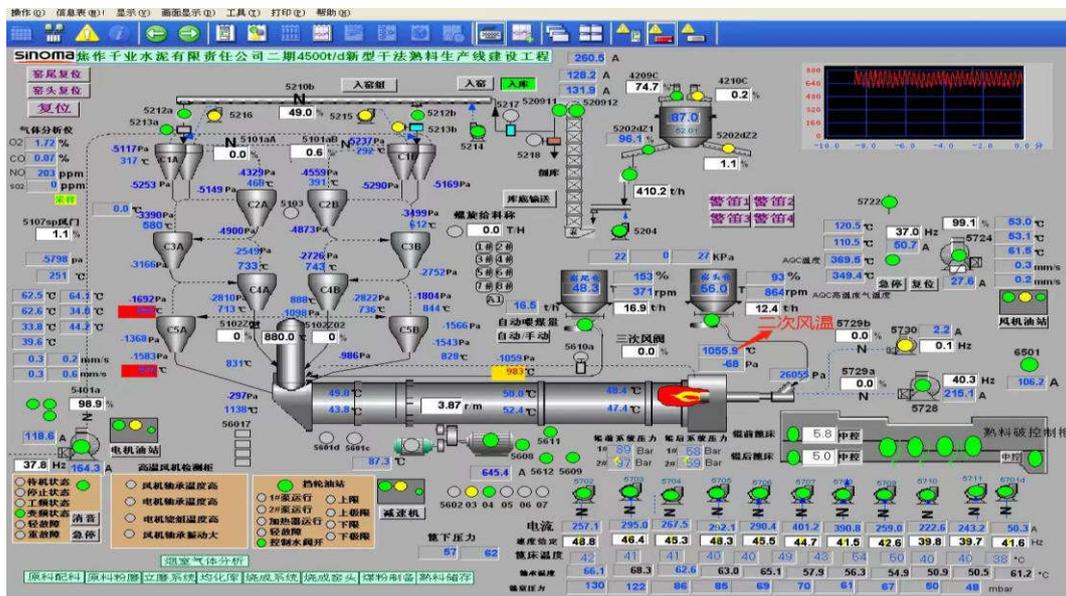


图2 改造前效果

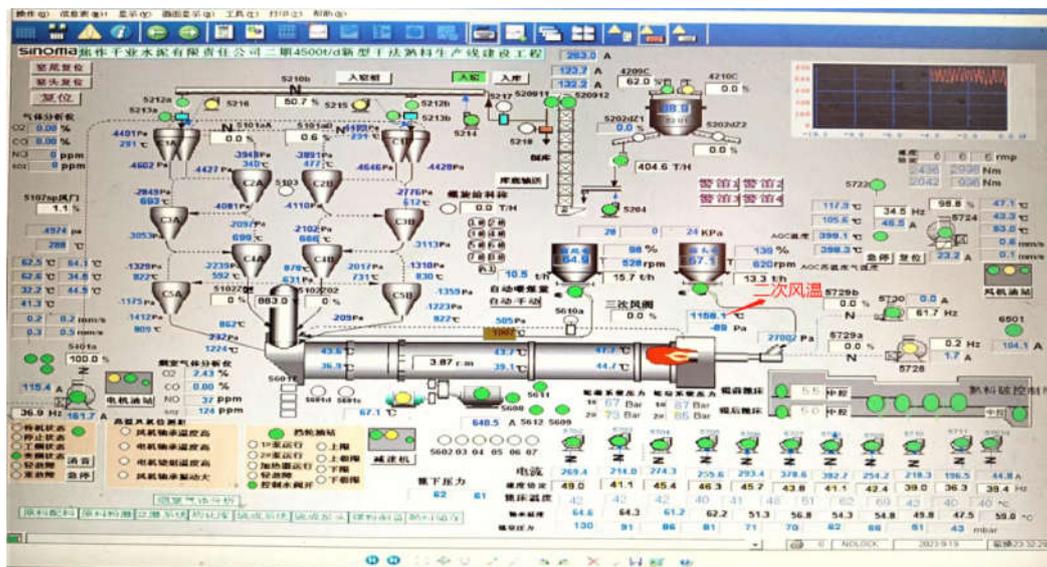


图3 改造后效果



图4 煤磨取风管改造后对比图

3.2 篦冷机工艺参数调整

目前,我公司二分厂篦冷机为第四代篦冷机,虽然较为先进,但它的基本功能仍然是热回收、熟料冷却和输送物料为主。日常操作的思想应以窑为中心,在满足窑况的同时尽可能提高余热发电量。对此,通过合理调整篦冷机用风,对风机工艺参数进行优化,不断观察篦冷机料层厚度,根据熟料冷却过程中被冷空气吹透的情况,将篦冷机一段篦下压力控制在60mbar左右,篦冷机一段5台冷却风机鼓风量同比以前均降低2赫兹,二段3台冷却风机降低2到4赫兹,避免篦冷机料层被吹穿导致过多低温气体混入。调整后,出篦冷机熟料温度60℃左右,AQC炉进口温度由原来350℃左右提高到现在的380℃以上,高时可达420℃左右,显著提高发电效率。^[3]

4 系统漏风治理:减少热能损耗

回转窑系统漏风会引入低温空气,降低系统温度、增加热耗与电耗,直接影响预热器出口温度及发电量。系统漏风主要有内漏风和外漏风,内漏风主要是锁风阀烧毁,动作不灵,锁风不严;外漏风主要是各级旋风筒的检查孔、下料管排灰阀轴、预热器顶盖、窑尾密封等处漏风。我公司窑系统漏风主要为外漏风,即烟室和各级旋风筒的检查孔、下料管翻板阀轴,如果长时间不处理会导致过多的低温空气进入,不仅会降低系统的温度,增加热耗,而且会浪费系统风机所做的功,增加电耗,同时也会降低整个预热器出口温度,降低发电量。因此,公司重点针对外漏风问题开展治理:增加预热器漏风检查频次,对检查孔漏风处用胶泥封堵,下料管翻板阀轴用岩棉填充,并将部分翻板阀更换为密封性能更优的微动锁风阀,彻底解决漏风问题,保障系统温度稳

定,减少热能浪费,提高了发电量。



图5 预热器漏风治理对比图

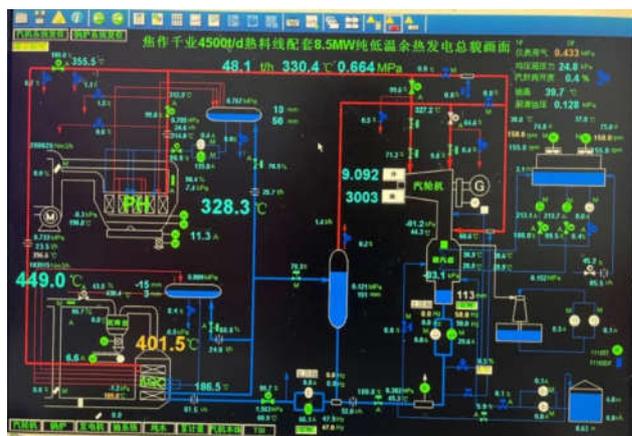


图6 余热发电量对比图

5 结语

在“双碳”目标引领与行业转型压力下,我公司通过稳定回转窑系统运行、优化SP炉与AQC炉进口温度调控、治理系统漏风等一系列针对性措施,成功将吨熟料余热发电量从28kwh提升至34kwh,实现了能耗降低与碳排放削减的双重突破。这些实践既挖掘了水泥生产过程中的余热潜力,验证了工艺参数优化与设备改造的可行性,也为企业创造了显著的经济效益。未来,公司将持续聚焦余热资源的深度利用,进一步细化系统管控、迭代技术方案,不断探索节能减排新路径,为水泥行业绿色低碳转型提供可复制、可推广的实践经验。

参考文献

- [1]李春秋,李克非.干湿交替下表层混凝土中氯离子传输:原理、试验和模拟[J].硅酸盐学报.2010,(4).
- [2]丁苏博,黄贤林,郭碧君.基于水泥回转窑运行状况分析的专家系统设计与实现[J].中国水泥.2008,(8).78-79.
- [3]李辉.水泥窑热耗的影响因素分析及节能降耗措施[J].新材料新装饰.2014,(9).