

新型烧结、球团矿冷却机余热回收利用技术

刘江, 王慧霞

(北京中冶设备研究设计总院有限公司, 北京 100029)

摘要: 传统冷却机由于固有结构形式缺陷, 造成烧结冷却机工作在漏风、冷却降温速度缓慢的工况下成为烧结工段的卡脖子环节, 限制了烧结工段的产能, 浪费了大量的高品位烟气余热, 给钢铁公司带来巨大的节能环保压力。本文研究了一种新型的烧结、球团矿冷却机, 介绍其在烧结余热回收利用方面的技术优势, 为提高烧结工段产能、增加余热回收量提供了新设备、技术及思路。

关键词: 烧结矿; 球团矿; 新型冷却机; 余热回收

中图分类号: TD464

文献标识码: A

DOI: 10.12230/j.issn.2095-6657.2023.32.002

在整个钢铁生产流程中, 烧结工序能耗约占钢铁生产总能耗的 10%, 仅次于炼铁工序, 是钢铁生产的第二耗能大户^[1]。烧结工序是炼铁前的重要工序之一, 烧结机烟气和环冷排放的烟气中含有大量的能源, 占据了近 50% 的热能。但目前, 中国烧结工序的废气余热回收利用率仅为 20% ~ 30%, 烧结工序尤其是在烧结矿冷却工序余热回收方面, 采用的余热回收方案仅回收高温废气显热, 但低温部分仍有大量的能源浪费, 烟气外排。

烧结矿冷却工序就是将约为 650℃ ~ 800℃ 高温合格的烧结矿冷却到 150℃ 以下, 传统的冷却设备常用的是带冷机或环冷机, 传统的鼓风式环冷机其台车等回转部分与静止固定的风箱之间的动密封装置存在严重的漏风(漏风率达 30% ~ 40%), 且一直以来没有好的办法解决, 导致风机工作效率低, 浪费电能, 且余热回收只回收了一段和二段, 大量 250℃ 以下的烟气余热没有利用, 余热回收的效率不高^[2]。

正是由于传统的冷却机这些固有的结构形式缺陷, 造成烧结冷却机工作在漏风、冷却降温速度缓慢的工况下成为烧结工段的卡脖子瓶颈环节。限制了烧结工段的产能, 浪费了大量的高品位烟气余热, 给钢铁公司带来巨大的节能环保压力^[3]。

为了解决上述问题, 采用高效新型冷却机, 克服了烧结矿冷却过程中产生的烟气余热资源回收率低的缺点, 能够达到提高烧结工段产能、增加余热回收量的目的。

1 现有冷却工艺及余热回收技术介绍

1.1 环冷工艺及余热回收技术

烧结矿热破碎后进入环冷机上冷却。650℃ ~ 800℃ 左右的高温烧结矿从烧结机尾部经破碎后落入环冷机台车上, 台车沿环冷机轨道运动, 同时冷却空气通过风室由台车下部进入, 与高温烧结矿叉流换热, 台车在环冷机轨道上运行一周后, 将烧结矿冷却至 80℃ 以下。

换热后的空气由台车上部排出, 在环冷机一、二段设置高温取风烟罩, 利用引风机将烧结环冷机一段和二段混合的高温烟气引入余热锅炉, 利用余热锅炉生产蒸汽发电。

现有的环冷工艺及余热回收技术存在比较多的问题: ①余热利用率低。烧结热矿温度高达 650℃, 但余热发电一般仅回收烟温比较高的一、二段热风, 一段烟温约 400℃, 二段烟温约 300℃, 大量 250℃ 以下的烟气外排, 余热回收的效率不高。②换热效果不好。烧结热矿和冷却空气的交流换热时间较短, 换热不充分。如果加厚料层又会带来冷却不充分、冷却电耗增高等的新问题。③冷却电耗偏高。环冷机其台车等回转部分与静止固定的风箱之间的动密封装置存在严重的漏风问题(漏风率达 30% ~ 40%), 导致风机工作效率低, 浪费电能。

1.2 竖冷窑冷却工艺及余热回收技术

竖冷窑冷却技术是将干熄焦技术移植到烧结矿冷却中。烧结矿破碎后的烧结矿, 通过斗提机或链板机送至竖冷窑缓冲仓, 烧结矿在竖冷窑内自上而下流动; 冷却空气自下而上与烧结矿进行逆流换热, 将烧结矿冷却的同时, 空气温度升高, 烧结矿

冷却至约 150℃, 空气温度升高至 400℃ ~ 450℃。冷却后的烧结矿通过竖冷窑底部排料口排至输送皮带, 通过输送皮带至筛分站。

高温空气在竖冷窑的上部汇集, 经管道送至重力除尘或旋风除尘进行一次除尘, 将大颗粒的烧结矿去除。一次除尘后的空气进入余热锅炉, 在余热锅炉与汽水进行换热, 空气温度下降至 120℃, 送至布袋除尘进行精除尘, 精除尘后的空气一部分送至热风烧结或者通过烟囱达标排放, 另一部分空气经循环风机加压后送至竖冷窑进行循环, 以此提高烧结矿的余热利用率和降低风机功率。

烧结矿竖冷窑虽然是借鉴干熄焦技术, 但是毕竟是一项新技术, 存在一定不足与缺点^[4]。①存在边缘死料层厚、料流不畅、热交换率低以及不均匀的问题。②在生产中出现过排料口堵塞死问题。③冷却风量在竖冷窑分布不尽合理, 造成排矿温度不均及不稳定问题。

2 新型冷却机余热回收技术

2.1 新型冷却机设备介绍

冷却机不仅是冷却高温物料的设备, 也是烧结、球团矿生产过程中对工艺制度和节能降耗影响很大的工艺设备, 具有高冷却效率、高热回收率、高运转率三大特点, 新型烧结、球团矿冷却机采用水平错流换热方式, 回收方式采用全封闭固定台车壁, 底板步进式送料方式。新型烧结、球团矿冷却机传动段是水平的, 通过机构组成为步进式篦床, 由液压驱动, 篦床由数列组成, 每列有前后两个液压缸同步驱动, 各列相对独立。如图, 所有列一起向前运动, 带动料床向前运动, 然后所有列分三次分批间隔后退, 由于熟料间摩擦力的作用, 前端熟料被卸在出料口。这样, 通过列间的交替往复运动, 从而达到输送熟料的目的。新型烧结、球团矿冷却机高温区采用热风冷却, 可以大幅提高余热回收的风温。突出特点是主体无漏料、模块化结构, 高热回收效率、高输送效率、装备高度低和节能等。

2.2 工作原理

新型烧结、球团矿冷却机对烧结矿通过热端控制篦板进行快速冷却, 采用高效控制流技术, 考虑料面厚度带来的阻力及分布, 利用模块下单独的风量调节阀板合理排布, 满足了不同区域的不同风量需求, 并且确保恒风量供风, 使得烧结、球团矿的冷却效果更好, 保证了物料的充分冷却, 出料降低

温度, 提高热回收效率, 对烧成物料的适应性强。控制流篦板冷却空气的进入过程: 风机→各风道支管→各风道支管调节阀→汇总风箱→风量调节阀板→篦板单元→烧结、球团矿层。特殊的篦板设置, 可以防止物料层内的冷却风回窜至各风室中, 减少各篦板相互间的漏料。高温烧结、球团矿从新型冷却机入口推进至后续篦床, 冷却至约 120℃后出料。同时, 风机鼓入的冷却风经热交换吸收高温料中的热能后进行余热利用。

2.3 新型冷却机本体结构

新型烧结、球团矿冷却机由上壳体、下壳体、篦床、篦床传动装置、篦床支承装置等组成, 另配若干台风机。上壳体是热回收的密封腔体, 下壳体布置有风室和输送装置, 篦床的作用是布料和冷却物料, 而风机则为系统提供冷风。新型烧结、球团矿冷却机输送与冷却单元分开, 篦板固定于模块框架上部, 只负责热矿的冷却功能, 物料的输送依靠推动棒, 篦板与运动部件之间设计有 C 型密封 (最小间隙 0.75mm) 装置, 彻底避免了篦床漏料的问题。

2.4 热矿冷却系统

烧结、球团热矿卸落到篦床上, 在篦床输送下, 沿篦床全长分布开, 形成一定厚度的料床, 冷却风从料床下方向上吹入料层内, 渗透扩散, 对热矿进行冷却。冷却后的烧结矿、球团矿落入冷却机后的输送机中, 送至原输送筛分系统。

在新型烧结、球团矿冷却机上壳体顶部至料床顶部之间设置三处挡墙, 将回收热烟气的上壳体根据烟气的温度范围分为三区, 一段为 550℃以上的高温烟气区, 二段为 350℃以上中温烟气区, 三段为 150℃~200℃左右的低温烟气区。一段的高温烟气与二段的中温烟气分别从各自取风罩引出后进入双压余热锅炉对应的烟气入口, 烟气从余热锅炉顶部, 经过炉膛, 从余热锅炉下部排出, 通过管道接至循环风机, 加压后, 烟气送至新型烧结、球团矿冷却机下壳体的一段风箱处, 完成烟气的一个循环过程; 三段风箱处通过鼓风机吹入冷风, 将热矿冷却到 150℃以下, 与热矿换热后的低温烟气从三段取风罩引出后分为两路, 一路送至新型烧结、球团矿冷却机下壳体的二段风箱处, 完成烟气的循环; 一路进入水加热器中对水进行加热后, 低温烟气通过管道输送至烧结烟气循环系统作为补氧热风使用。

2.5 汽水系统

外部管网提供的除盐水送入到双压余热锅炉的低参数省煤器中进行加热，加热后的除盐水流经热水管道进入到除氧器中进行除氧，经过除氧后的除氧水进入到低参数汽包中，低参数汽包中的水经下降管进入到低压蒸发器，在低参数蒸发器中，热水与热烟气进行换热后，产生的蒸汽进入到低参数汽包中进行汽水分离，分离后的饱和蒸汽进入到低参数过热器中，经加热变成低参数过热蒸汽，低参数过热蒸汽经副蒸汽管道输入到汽轮机的低参数级做功发电。低参数汽包中的除氧水经给水泵送入到高参数省煤器中进行加热，加热后的水进入到高参数汽包中，高参数汽包中的水经下降管进入到高参数蒸发器，在高参数蒸发器中，热水与高温烟气进行换热后，产生的蒸汽进入到高参数汽包中进行汽水分离，分离后的饱和蒸汽进入到高参

数过热器中，再经加热变成高参数过热蒸汽，高参数过热蒸汽经主蒸汽管道输入到汽轮机的高参数级做功发电。

3 新型冷却机余热回收利用技术优势

本技术方案根据烧结工艺、球团工艺特点，对烧结、球团冷却烟气余热资源采用特殊工艺流程来改善余热利用率。

(1) 根据烟气的温度范围，对新型烧结、球团冷却机内部设置挡墙进行分区，可以保证高、中、低温热风区域相互独立。

(2) 可以梯级利用新型烧结、球团矿冷却机烟气显热，一段高温烟气可过热蒸汽，蒸汽参数能达到中温中压或中温次高压，发电效率大幅提高。

(3) 新型烧结、球团矿冷却机采用全封闭式，可以回收全部热风，余热利用率大幅提高。

表1 环冷机与新型冷却机设备处理能力及生产指标对比

序号	类型	传统环冷机	新型冷却机
1	冷却量t/h	302.4	302.4
2	料层厚度m	1.2	1
3	正常冷却时间min	60~80	55
4	热矿进口温度℃	650~750	650~750
5	热矿出口温度℃	120	120
6	冷却风速m/s	0~2	0.5~2
7	风料比Nm ³ /t-sinter	2500~2800	1300~1550
8	冷却面积/占地面积m ²	235/2000	161/1125
9	产蒸汽类型	低温低压(2.0MPa, 350℃)	中温中压(3.82MPa, 450℃)
10	折算吨矿发电量kWh	18.1	27.0
11	自用率%	28.9	19
12	年余热发电量10 ⁴ kWh	4334.96	6466.52

表2 主要技术经济指标对比

序号	技术名称	单位	环冷机指标	新型冷却机指标	备注
1	年产蒸汽量	万吨	25.23	30.54	年运行7920h
	高参数蒸汽	万吨	20.19(2.0Mpa、350℃)	24.43(3.82Mpa、450℃)	
	低参数蒸汽	万吨	5.05(0.5Mpa、200℃)	6.11(0.5Mpa、200℃)	
2	年除盐水耗水量	万吨	3.6	4.32	
3	系统总电耗	10 ⁴ kWh	1251.72	1229.04	
4	年蒸汽收入	万元	2523.31	3664.74	低温低压按100元/t, 中温中压按120元/t计
5	年支出除盐水费用	万元	36	43.2	除盐水电价按10元/吨计
6	年支出电费费用	万元	751.03	737.42	电价按0.6元/kWh计
7	年纯收益	万元	1736.28	2884.1184	
8	项目总投资	万元	4320	3670	不含提产改造投资
9	投资回收期	年	2.50	1.27	

(4) 双压锅炉梯级利用烟气,降低排气温度,同时余热锅炉采用回热方式,提高新型烧结、球团矿冷却机一、二段烟气温度,提高能量利用率。

(5) 物料被步进送料装置交错送料,物料呈蠕动状态,换热效率大幅提高,风料比大幅降低,冷却风通过助力大幅降低,风机功率小,所用的新型冷却机采用液压驱动,自耗电低。

(6) 由于冷却机换热效率提高,冷却流程短,只用3~4台冷却风机即可将终点矿温降至120℃以下,装置占地面积小,设备模块化、设备高度低,检维修少。

(7) 工艺密封效果好,能有效改善作业点的环境,很好地治理工作点的热源放散和粉尘放散问题;且余热锅炉的出口的废气不进行排放,又返回到新型烧结、球团矿冷却机一、二段利用,三段烟气去往烧结烟气循环系统,仅在烧结烟气系统停运的情况下进行短暂排放,符合国家节能环保的政策方针,为以后不停产作业提供了有力支持。

(8) 所设计工艺流程合理简单,工艺设备结构合理,装置占地面积小,设备高度小,适合对原有烧结系统改造升级。

(9) 新型烧结、球团矿冷却机技术可靠,回收期短。

(10) 本工艺流程不会烧结,球团原有系统造成不利影响。

4 技术经济性分析

以黑龙江某厂180m²烧结机配套冷却机为例,通过烧结矿冷却工艺相关资料收集总结、理论计算、数值模拟及实验,结合两种烧结冷却工艺的参数比较如表1和表2。

由以上分析对比可知,以黑龙江某厂180m²烧结机配套冷却机为例,使用新型烧结、球团矿冷却机将提升蒸汽品质,由低温低压蒸汽提升为中温中压蒸汽,且自用电率更低,年余热发电量增加2131.56×10⁴kWh,电价按0.6元/kWh计,每年相较环冷机余热发电技术可多盈利约1200万,且采用新型冷却机投资比环冷机资金投入更少,投资回收期更短。

环式冷却机是环形布置,占地大。新型烧结、球团矿冷却机采用模块化布置,占地大小可根据场地位置进行调整,更换为新型烧结、球团矿冷却机,烧结机的面积预计可增加25%以上,从而也可以提高烧结矿产量。

采用新型冷却机日常消耗仅为少量电力,定期检查/检修关键设备;且不需要专门的人力配备,控制系统置于主控制室内,现场设备巡检任务不重,可由原车间巡检人员完成。

综合上述计算,采用新型烧结球团冷却工艺为企业带来的经济效益十分显著。

5 结语

综上,新型烧结、球团矿冷却机余热回收利用技术是烧结、球团余热资源高效回收利用的一条新的途径,克服了传统冷却机存在漏风、热矿余热部分回收、载热介质温度较低、能源不能梯级利用等弊端。从提高产能方面,钢材市场需求不断加大,钢铁烧结产能需要提高。新型烧结、球团冷却机采用模块化,占地大小可根据场地位置进行调整,如果将环式冷却机更换为新型烧结冷却机,烧结机的面积可提升25%左右,烧结矿产量可提升15%~20%左右。从环保和节能两个方面,政策上将会逐步要求企业全面提升改造。新型烧结冷却机的全密封结构,有力改善了作业点的环境,很好地治理了工作点的热源放散和粉尘放散问题,符合国家节能环保的政策方针,为以后不停产作业提供了有力支持。新型烧结、球团矿冷却机的料层阻力、料层内气固传热以及冷却方式对烧结矿冶金性能的影响是新型冷却机余热回收利用技术是否可行的关键问题,是后续研究的重点方向。

参考文献:

- [1] 顾尚军,雷仕江,杜东,等.降低水钢烧结工序能耗的措施[J].能源与节能,2018,(02):63-64.
- [2] 罗可,汤清铭.液密封环冷机台车密封单元串风问题的改进与探讨[J].烧结球团,2010,35(04):10-12.
- [3] 刘江,王慧霞,樊响,等.一种用于烧结热矿、球团矿冷却机的余热回收利用系统:中国,CN202010200956.1[P].2020-03-20.
- [4] 彭青峰.烧结矿竖冷密冷工艺及余热发电探讨[J].冶金管理,2019,(11):14-15.

作者简介:刘江(1979-),男,辽宁本溪人,大学本科,高级工程师,主要从事机械设计制造及其自动化研究。