

步进式烧结余热发电技术研究与实践

翟建建¹, 周 强¹, 丁 强¹, 王 可²

(1.江苏电力节能服务有限公司, 江苏 南京 210019; 2.南京凯盛开能环保能源有限公司, 江苏 南京 210016)

摘 要:目前国内平式烧结机余热资源大多已充分利用, 而步进式烧结受烧结矿料、密封性及检修计划等影响, 环冷机烟气参数波动较大, 导致纯烧结余热回收发电参数波动过大而无法稳定运行。通过增加小容量高炉煤气锅炉产汽作为负荷稳定手段, 充分回收烧结环冷机废气余热, 可保证机组的稳定运行, 产生良好的节能效益。该技术在某钢厂的步进式烧结生产线上得到成功应用, 效果明显。

关键词: 步进式烧结机; 余热发电; 节能

0 引言

在钢铁行业, 烧结工序的能耗占其能源消耗的9%~12%, 仅次于炼铁工序, 而烧结工序最主要的热量损失均来自环冷机和烧结机, 其中环冷机损失最大, 约占其显热的20%~28%。自2005年9月马鞍山钢铁股份有限公司2台300 m² 烧结机17.5MW余热发电系统投运以来, 在不断引进技术的基础上, 我国进行了大量的技术创新。十年来, 伴随我国能源成本的不断上升以及烧结机余热发电技术的不断改进, 国内平式烧结机余热资源基本上都得以利用, 而步进式烧结由于其工艺的独特性在余热发电领域还未有实际成功案例。

目前, 国内的烧结余热发电系统绝大多数为纯低温余热发电系统。该系统是指从环冷机冷却段前部取出的热风, 通过除尘设备(有些项目也不加除尘设备)后进入余热锅炉, 然后与锅炉给水换热, 从而产出过热蒸汽。过热蒸汽经热力管网输送至汽轮机做功, 汽轮机带动发电机发电。这种烧结余热发电理论上不会增加钢厂的热耗, 是纯粹地利用环冷机剩余的废气进行发电, 节能效果明显。因此, 该系统获得了广泛的认可, 从而得到了快速的发展。

在冶金行业的炼铁厂, 步进式烧结机是集环保、节能技术于一体的先进的铁矿粉、有色金属矿粉及其它工业(粒)状原料的烧结处理装置, 能完整实现原料矿粉到烧结矿产出的工艺过程, 适合于不同生产规模的铁矿粉烧结, 也适用于有色金属矿粉和其它各种工业原料的烧结处理。环冷机为烧结结束后通过鼓风方式对烧结矿进行冷却的装置, 刚刚进入

环冷机的烧结矿温度通常在700~800℃之间, 台车在环冷机中绕行一周, 完成对烧结矿的冷却后, 烧结矿温度通常可下降到150℃以下, 在环冷机的卸料区, 将冷却的烧结矿卸下。

基于步进式烧结机运行特点, 对其进行余热回收利用发电存在如下困难:

(1) 烧结检修频率较高, 可达每月5次, 如进行余热发电会造成汽轮机高频解列, 影响余热发电机组的稳定性及安全性。

(2) 烧结废弃温度受烧结矿料影响较大, 若烧结矿料燃值较高, 燃烧比较充分, 废气温度较低, 若烧结矿料燃值较低, 燃烧不充分, 则废气温度较高, 每一次更换烧结矿料均会导致废气温度的大幅波动, 影响机组的正常运行。

(3) 受环冷机密封性影响较大, 环冷机漏风严重, 则冷却效果差, 若在卸料区烧结矿温度不能降到150℃以下, 则会将运送烧结冷矿的传送皮带烧坏, 造成重大损失并影响烧结机生产线的正常运转。同时由于漏风问题, 还将使部分矿料被吹出环冷机, 污染环境, 造成浪费, 同时热风温度降低会导致配套的余热回收装置效果差, 经济收益减少。

1 步进式余热发电技术方案

为解决烧结频繁检修及矿料更换造成的余热资源波动问题, 通过前期调研了解, 在具备条件的基础上采用增加小容量高炉煤气锅炉产汽稳定负荷的方案, 即通过稳定的煤气锅炉产汽作为汽轮机低负荷运行保证条件, 维持机组的持续运行。

1.1 烧结余热资源

改造方案的对象为一条 144 m²步进式烧结线，烧结矿冷却采用鼓风环冷方式。针对步进式烧结落料的非连续性，首先对环冷机进行了热工标定，测量环冷机高温段烟罩各点温度，按照事先拟定的热工标定方案与现场的实际情况，在环冷机高温段烟罩上取四处位置进行测温，具体位置分布详见图 1。

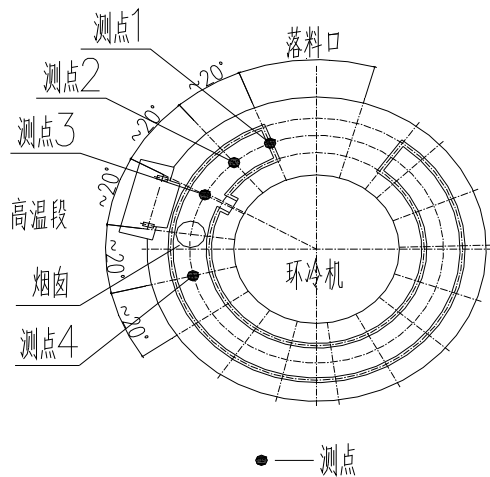


图 1 测点示意

经过一段时间连续测量，各测点的温度变化成波浪型，变化时间约为 60-120s，波动的温度区间可高达 100℃。测点 2 的温度最高，测点 1 测点 3 测点 4 的温度由高到低，具体见图 2。

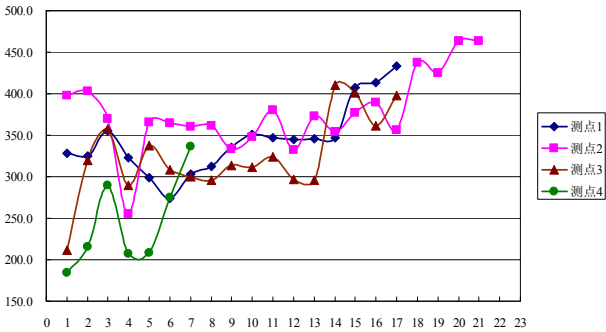


图 2 各个测点随时间温度变化

1.2 热力系统设计

通过现场的热工标定与数据分析，发现：该环冷机高温段的废气温度基本分布与 280-430℃ 的温度区间。因此设计参数中废气温度取 320℃（考虑余风再循环），废气流量取 180000Nm³/h；高炉煤气取 10000Nm³/h，热值 3031kJ/Nm³。

该系统主要由 3 个部分组成：一套煤气锅炉（额定压力 1.15MPa 蒸汽量 10t/h）、一套立式双压余热锅炉（额定压力 1.15MPa 蒸汽量 12.5t/h 和 0.28MPa 蒸汽量 4.5t/h）和一套凝气式汽轮发电机组（额定

功率 5MW）。

余热锅炉所产高压过热蒸汽会同煤气锅炉所产过热蒸汽送入主汽门，低压蒸汽送入汽轮机补汽口，一并推动汽轮发电机组做功发电，计算平均发电功率为 4200kW，热力参数如表 1 所示。

表 1 热力参数汇总

设计参数	数值	备注
余热锅炉		
烟(风)流量/(Nm ³ /h)	180000	
进口烟(风)温度/℃	320	
出口烟(风)温度/℃	117	
主蒸汽流量/(t/h)	12.5	
主蒸汽压力/MPa	1.15	
主蒸汽温度/℃	300	
低压蒸汽流量/(t/h)	4.5	
低压蒸汽压力/MPa	0.28	
低压蒸汽温度/℃	180	
煤气锅炉		
煤气量/(Nm ³ /h)	10000	
煤气低位热值/(kJ/Nm ³)	3300	
空气量/(Nm ³ /h)	6652.4	α=1.1
烟气量/(Nm ³ /h)	15462.4	
排烟温度/℃	150	
主蒸汽流量/(t/h)	10	
主蒸汽压力/MPa	1.15	
主蒸汽温度/℃	380	
汽轮发电机组		
汽机主汽流量/(t/h)	22.5	
汽机主汽压力/MPa	1.05	
汽机主汽温度/℃	320	
汽机补汽流量/(t/h)	4.5	
汽机补汽压力/MPa	0.2	
汽机补汽温度/℃	170	
汽轮机排汽压力/MPa	0.007	
计算平均发电功率/kW	4200	

1.3 技术经济效益分析

按机组年运行 7200 小时计，此余热发电系统年发电量 3024 万 kWh，自用电按设计值 18%计，年供电量可达 2479.68 万 kWh，供电单价按 0.667 元/kWh 计，年可产生节能效益 1653.95 万元，按项目投资 4000 万元计，项目静态投资回收周期 2.41 年，经济效益良好。

从节能减排效果来看，以全国火电机组的平均供电煤耗 330g/kWh计，可节约标煤 8182.9t/a，相应减少温室气体（CO₂）的排放量为 20209.4t/a，减少 SO₂约 68.71 t/a。

对钢铁企业而言，本项目属完全的资源综合利用，通过回收余热发电部分替代电网电能，降低了电力需求。其次，有效降低了烧结工序能耗，降低企业单位产品能耗比，提高了企业竞争力。同时，

在该项目实施之后,由于烟气进行闭路循环,现场环境明显改善,还回收了含铁粉尘。

2 实施效果

该方案已在某钢厂一条 144 m²步进式烧结线上得以应用,机组运行情况良好,验收时 72 小时连续运行发电功率曲线见图 3。

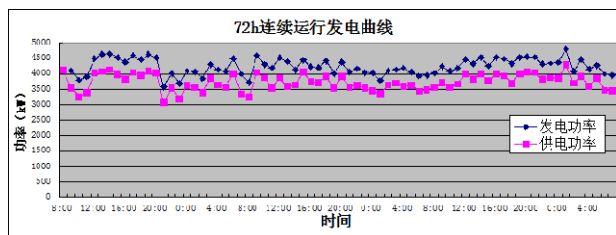


图 3 72h 连续运行发电功率

同时,通过 3 个月的连续运行,证明了机组稳定可靠。选取其中一个月为记录,在此期间烧结生产线故障 3 次,煤气故障 2 次,但由于故障时间不一致,发电机组仅解列一次,发电机组该月的运行曲线如图 4 所示。

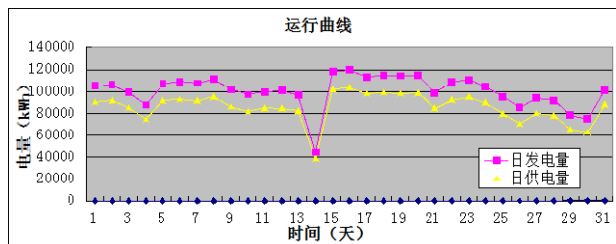


图 4 月运行记录

该月总计发电量为 321.2 万 kWh,供电量 273.9 万 kWh,平均厂用电率 14.7%,平均发电功率 4.32MW,实际运行效果优于设计值。

当烧结矿料品质较低,燃烧不充分,环冷的废气温度较高,而且煤气供应量比较充足时,机组最

高日平均发电功率为 5MW,厂用电率 13.1%,发电机组发电功率最高达 5.5MW。

3 结论

通过增加高炉煤气所产蒸汽来解决步进式烧结余热发电系统稳定运行问题,为烧结余热回收利用提供了一种新思路,是对烧结余热利用的一种节能创新,技术方案在实际改造案例中的成功应用,也证明了该方案的可行性和经济性,为同类型烧结生产线的余热回收提供了思路和参考。

参考文献:

- [1] 徐树伟,彭益成,刘志斌,等. 钢铁企业烧结余热发电技术发展探讨[J]. 工业锅炉,2010(05):45-50.
- [2] 魏婷. 烧结余热发电的热经济性分析[D]. 北京:华北电力大学(北京),2010.
- [3] 董辉,王爱华,冯军胜,等. 烧结过程余热资源回收利用技术进步与展望[J]. 钢铁,2014(09):1-9.
- [4] 周翔. 我国烧结余热发电现状及有关发展建议[J]. 烧结球团,2012(01):57-59+74.
- [5] 杨肇博,刘冠男,单中闯,等. 高炉煤气补燃装置在烧结余热发电中的应用[J]. 矿业工程,2014(01):53-56.
- [6] 张光学,池作和,周朝晖,等. 烧结余热发电补燃装置的设计及数值模拟[J]. 动力工程学报,2012(02):135-139.

作者简介:

翟建建(1990-),男,河南济源人,2012年毕业于东南大学,江苏电力节能服务有限公司客户经理,E-mail:zai-ji-an@163.com。