

# 公司余热余能回收利用实践

高海印

河北鑫达钢铁集团有限公司能源动力厂, 河北 唐山 063000

**[摘要]**河北鑫达钢铁集团有限公司高度重视余热、余能的回收利用工作, 多年来始终围绕如何对余热、余能最大化回收和利用开展技术改造、课题攻关、运行管理等活动。文中通过对公司余热、余能回收利用实践中取得的效果和不足进行总结分析。

**[关键词]**余热余能; 回收利用; 实践

DOI: 10.33142/sca.v5i1.5557

中图分类号: TF089

文献标识码: A

## Practice of Recovery and Utilization of Waste Heat and Energy of Company

GAO Haiyin

Energy Power Plant of Hebei Xinda Iron & Steel Group Co., Ltd., Tangshan, Hebei, 063000, China

**Abstract:** Hebei Xinda Iron & Steel Group Co., Ltd. attaches great importance to the recovery and utilization of waste heat and residual energy. For many years, it has always carried out activities such as technical transformation, research and operation management around how to maximize the recovery and utilization of waste heat and residual energy. This paper summarizes and analyzes the results and deficiencies in the practice of waste heat and energy recovery and utilization of the company.

**Keywords:** residual heat and energy; recycling; practice

### 引言

钢铁企业余热、余能资源约占企业总用能的 37%, 其中含产品显热、废烟气显热、冷却水显热、炉渣显热、废气余压等。如何实现这些余热、余能资源科学合理回收利用, 是企业实现降本增效、提高经济效益的研究发展方向。通过科学技术、运行管理等手段实现余热余能最大化回收利用会推动企业的技术进步, 为企业走循环经济之路打下坚实的基础。一直以来, 河北鑫达钢铁集团有限公司坚持“按质用能, 温度对口, 梯级利用, 热和能尽其利用”为方向, 开展余热、余能回收利用工作。

### 1 公司余热余能回收利用情况现状

#### 1.1 余热余能来源分类

按照余热品位分: >500℃以上余热为高温余热; 200~500℃余热为中品位余热; <200℃烟气低温余热, <100℃液体低温余热。

按照来源分: 烟气余热, 冷却介质余热, 废汽废水余热, 化学反应热, 高温产品和炉渣余热, 以及可燃废气、废料余热, 冶炼产物余压等。

#### 1.2 我公司实施余热、余能回收的技术

##### 1.2.1 炼钢转炉烟气余热回收利用技术

我公司炼钢转炉配套安装转炉余热锅炉(汽化冷却烟道)和转炉煤气净化系统。转炉冶炼周期决定了烟气余热特性, 即间歇性、波动性、周期性。在吹氧期间, 随炉内铁水温度升高, 烟气量和烟气温度急剧升高并达到最大值, 吹氧结束后不产生烟气, 汽化冷却系统温度会不断下降。在冶炼过程中转炉汽化冷却系统将转炉烟气从

1400~1600℃冷却到 700~800℃同时, 将吸收的热量将软化水转换为蒸汽, 通过蒸汽回收系统及管道输送至余热发电机组发电。如何实现转炉烟气热量的最大化回收, 减少热量损失和回收的炼钢蒸汽有效利用, 是研究解决炼钢余热蒸汽回收较低原因的基本方向。(图 1)

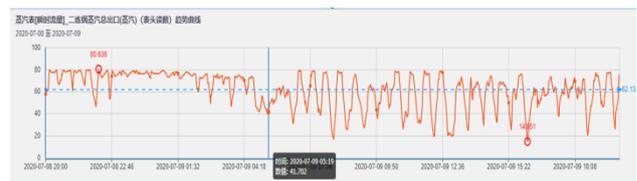


图 1 炼钢余热蒸汽外送曲线

炼钢转炉余热蒸汽回收和利用的设备系统结构(图 2)

炼钢转炉余热蒸汽回收主要设备有: 活动烟罩、汽化烟道、蒸汽包、除氧器、汽包上水泵、强制循环泵、蓄热器及阀门、管道组成。余热发电蒸汽利用系统主要设备有: 汽水分离器、蒸汽加热炉、汽轮机、发电机、凝汽器、凝结水泵、管道、阀门等组成。

蒸汽回收、利用系统由以下几部分:

(1) 活动烟罩循环系统: 除氧水箱内除氧软化水通过烟罩循环泵进入活动烟罩, 对活动烟罩进行冷却后回到除氧水箱, 活动烟罩热量回收同时对除氧水箱水进行加热。

(2) 汽化冷却循环系统: 蒸汽包内软化水经下降管进入汽化烟道, 由联箱内水均匀分配到汽化烟道分支管道内, 转炉冶炼过程中产生的高温烟气对汽化冷却烟道内水进行热量交换后产生汽水混合物, 随着汽水混合物的发生量的变化在系统中形成压差循环, 形成压差循环的汽

水混合物进入蒸汽包，汽水混合物在汽包内分离后产生蒸汽，蒸汽通过管道、调节阀进入蒸汽蓄热器。一般较大型转炉一段烟道设强制循环泵，增强烟道的冷却循环效果。

(3) 由回收系统的蒸汽进入蓄热器内进行储存，根据系统压力需求经调节阀、管网均匀的输送到各用户点。

(4) 蒸汽经管道输送到发电系统，经蒸汽脱水器、饱和蒸汽加热后进入汽轮机组做功带动发电机组发电，做功后的蒸汽经蒸汽凝汽器冷却形成凝结水经凝结水泵输送到转炉除氧水箱。

(5) 除氧水箱水在接收发电回收凝结水后的不足部分由软水制备系统及时补充，进入除氧水箱的水用蒸汽进行加热除氧，确保进入汽化系统内水符合工艺要求。

(6) 除氧水箱的除氧软化水根据汽包的水位变化情况经汽包上水泵及时补水，补水时间根据工艺要求确定。

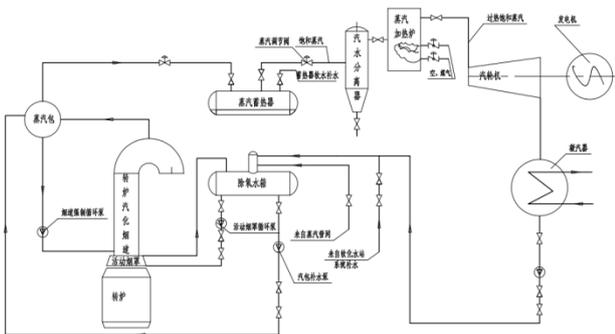


图2 氧气转炉余热回收、利用系统图

### 1.2.2 轧钢加热炉余热回收技术

#### (1) 轧钢加热炉炉内循环冷却余热回收

轧钢加热炉对钢坯加热过程中炉内温度达到1100-1300℃，为确保加热炉正常运行，炉内安装有冷却循环系统，在冷却循环过程中会产生0.6-0.8MPa的饱和蒸汽，实现这部分饱和蒸汽回收利用提高经济效益。

#### (2) 轧钢加热炉外排烟气余热回收技术

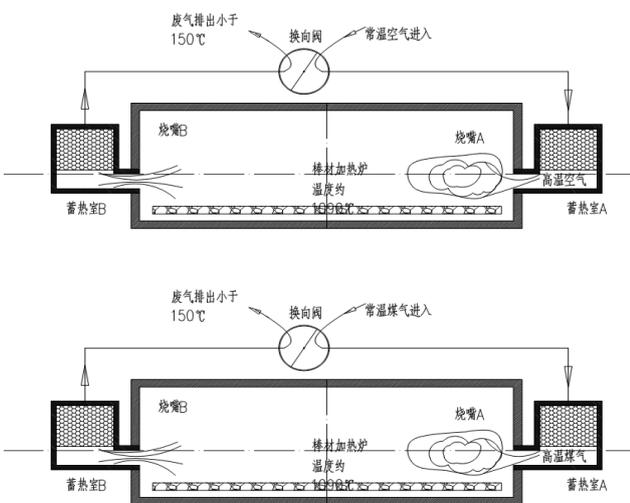


图3 轧钢加热炉烟气余热回收

我公司轧钢加热炉采用双蓄热式加热炉，烧嘴成对配置布置在加热炉两侧。如图当烧嘴A工作时，预热的高炉煤气在预热的高温空气助燃下燃烧，对加热炉内钢坯进行加热，燃烧的废气经烧嘴B排出，同时对蓄热室B蓄热体进行加热，加热蓄热体的同时对外排烟气进行降温，使外排烟气温度控制在150℃以下，实现轧钢加热炉外排废气热量有效回收，大大提高了加热炉的热效率，降低高炉煤气消耗。

#### (3) 轧钢系统钢坯热送、热装技术

炼钢连铸生产钢坯显热在600-800℃，通过热送辊道将热坯直接装入到加热炉内进行加热后轧制生产，回收钢坯显热，降低煤气消耗。

### 1.2.3 球团竖炉余热回收技术

球团竖炉在生产中炉内燃烧温度在900-1000℃，竖炉的导风墙水梁及小水梁中软化水在汽化冷却过程中产生的余热蒸汽，经余热蒸汽回收系统回收后送烧结工艺生产使用。

### 1.2.4 烧结烟气循环技术

烧结废气的余热占烧结总热耗的20-30%，且含SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>和二噁英等有害物质；采用烟道废气循环烧结技术可利用烟气中残留的CO(0-2%，重新燃烧放热)和200-300℃废气的物理热，提高烧结矿表面和降低固体燃料消耗，同时废气循环后，烟道废气量减少，且烟气中有害物质在烧结中再分解，可起到减少污染物排放和烟气综合治理的效果。

### 1.2.5 燃烧废气余热回收技术

利用高炉热风炉燃烧的300-400℃废气对参与热风炉燃烧的空气和煤气进行预热，提高介质温度降低燃气消耗，多余的热风炉废气通过输送管道输送到喷煤加热炉，在回收烟气余热的同时降低烟气外排。

发电系统燃气锅炉废气通过换热器对煤气及助燃空气预热，回收烟气余热降低燃料消耗。

### 1.2.6 高炉炉顶余压回收利用

我公司高炉配套BPRT系统，利用高炉炉顶的高炉煤气余热余压推动透平机做功，助力高炉鼓风机工作，实现降低电力消耗的目的。

### 1.2.7 高炉冲渣水余热回收技术

高炉冲渣池是冶炼的最末端工艺，高炉冶炼后产生的大量高温炉渣需要通过冲渣水进行冷却，在冷却过程中能够产生大量温度在70-80℃的冲渣水，通过换热技术对高炉低品位冲渣水余热进行回收，实现供暖面积41万m<sup>2</sup>。

### 1.2.8 烧结环冷机余热回收技术

将现有烧结机进行升级改造，对烧结环冷机在生产中产生的高温烟气的余热进行回收，实现环冷机冷却气的余热回收，配套烧结SHRT系统，对回收的余热进行有效利用，以达到降低能耗综合利用能源的目的，发挥最佳的经济效益。

## 2 重点余热、余能回收情况

### 2.1 2019 年炼钢蒸汽、轧钢蒸汽余热回收情况

公司余热发电机组只有一台 12MW 余热发电机组，机组的最大消耗蒸汽量为 55t/h，其它的炼钢余热蒸汽只能用于取暖、烧结工艺生产。由于余热利用发电机组负荷不足制约炼钢余热蒸汽回收量的提升，按照公司制定的指标计划约每小时回收蒸汽 95t/h，发电机组负荷约有 40t/h 的蒸汽需求缺口。炼钢蒸汽存在不同程度的放散。

公司轧钢系统共 6 条生产线，受蒸汽用户的限制，除部分蒸汽供烧结生产外其余蒸汽全部处于放散状态，存在较大的能源浪费。

### 2.2 针对炼钢蒸汽、轧钢蒸汽余热回收情况制定措施

(1) 2020 年 4 月 18MW 余热发电机组建成并投运，从根本上解决余热饱和和蒸汽不能消化的问题。

(2) 针对炼钢蒸汽、轧钢蒸汽的管网进行优化，在满足工艺生产需求的基础上剩余的蒸汽最大化用于蒸汽发电，提高经济效益。

(3) 对炼钢余热回收系统跑冒滴漏进行治理，对实施困难的项目制定整改计划，确定责任人。

(4) 对二钢 3# 转炉安全阀不能有效关闭的问题实施督办项目，规定时间内完成。

(5) 对二炼钢厂蓄热器进行联通，增加蓄热器的整体蓄热能力，同时解决由于单个蓄热器由于外送阀门故障影响某座转炉长时间蒸汽不能回收的问题。

(6) 对炼钢蒸汽外送系统进行系统排查，解决系统外送阻力高的问题，杜绝由于系统阀门故障造成冶炼过程中汽包放散阀被迫打开造成蒸汽放散。针对炼钢蒸汽、轧钢蒸汽回收和利用开展课题攻关，解决余热蒸汽在回收和利用上存在的问题，在提高经济效益的基础上，使技术水平，管理水平进一步提升。

### 2.3 炼钢蒸汽、轧钢蒸汽余热回收情况取得效果

2020 年在满足烧结等各工序工艺生产使用蒸汽的基础上，轧钢、炼钢高品质余热蒸汽回收取得效果明显，截止到 2020 年 9 月吨钢余热蒸汽发电 14.54kWh/t。



图 5 余热蒸汽吨钢发电量趋势

### 2.4 炼钢蒸汽、轧钢蒸汽余热回收经济效益分析

9 月份吨钢发电量完成 14.54kWh/t，按照 2020 年 1-3 月份吨钢余热发电的平均值 8.77kWh/t 为基准值，按照日产钢 2.3 万吨计算，9 月份余热发电效益为： $(14.54 - 8.77) * 69$  (万吨)  $* 0.5 = 398.13$  (万元)，年效益为 4777.56 万

元，经济效益可观。

### 2.5 轧钢系统余热利用措施

对轧钢系统加热炉定期维护维修，确保加热炉热量损失降到最低，加热炉蓄热体蓄热效果良好，控制排烟温度在 180℃ 以下，外排烟气余热得到有效回收利用。

利用钢坯 600-800℃ 的显热，轧钢生产实施热送热装技术，提升余热回收利用。

### 2.6 轧钢系统余热回收取得的效果

2019 年棒材工序、带钢工序、型钢工序轧钢生产线吨钢用高炉煤气累计值分别为：224.2m<sup>3</sup>/t、229m<sup>3</sup>/t、312.9m<sup>3</sup>/t。2020 年 1-9 月份棒材工序、带钢工序、型钢工序轧钢生产线吨钢用高炉煤气累计值分别为：201.4m<sup>3</sup>/t、204.6m<sup>3</sup>/t、267.8m<sup>3</sup>/t，煤气消耗均大幅度降低。

### 2.7 轧钢系统余热回收经济效益测算

以 2019 年轧钢工序煤气消耗为基准，2020 年 1-9 月份共节约高炉煤气 14194 万 m<sup>3</sup> 高炉煤气，按照高炉煤气发电 3.0m<sup>3</sup>/kWh 计算，节约的高炉煤气发电量为：4731.33 万 kWh，创效额为：2365.17 万元。

### 2.8 高炉炉顶余压发电实施情况

在高炉工况接近情况下，分别对 BPRT 机组透平机投运和检修期间高炉鼓风机用电情况进行统计，2019-2020 年 5 座高炉 BPRT 机组透平机做功折合发电量，实现吨铁发电量 37.58kWh/t，距离先进值 48kWh/t 有较大差距。

表 1 透平机组发电统计汇总

日期	高炉	吨铁发电量 (kWh/t)
2020 年 5 月	5#	37.49
2020 年 4 月	8#高炉	49.9
2020 年 4 月	8#高炉	31.8
2020 年 5 月	7#高炉	38.5
2019 年 4 月	7#高炉	37.5
2019 年 5 月	6#高炉	39
2020 年 4 月	6#高炉	28.9
平均值		37.58

### 2.9 主要存在问题

(1) 高炉 BPRT 系统透平机组运转效率有待提升。

表 2 高炉 BPRT 机组透平机组退出时间统计

高炉透平机组退出时间 (min)					
月份	2#炉	5#炉	6#炉	7#炉	8#炉
8	354	2350	733	1029	442
9	4890	793	519	1383	10213

(2) 高炉 BPRT 机组透平机组投运后输出功率受高炉顶压、煤气流量、煤气温度的高低影响，尤其是高炉煤气流量影响较大，高炉调压阀组及 BPRT 旁通阀存在不同程度泄漏对机组做功影响最大。

### 3 余热余能利用情况分析

经不完全统计河北鑫达钢铁集团有限公司 2020 年自发电比率较 2019 年上升 7.79%，其中较高品质余热回收占比增加 2.54%，余压发电占比增加 0.12%。

表 3 各单元自发电比率占比统计

年月	总自发电比率 (%)	余热自发电 (%)	余压自发电 (%)	2020 年较 2019 年轧钢余热增加自发电 (%)
2019 全年	60.67	2.57	8.44	——
2020 年 1-9 月	68.46	3.14	8.56	1.97

### 4 余热余能回收利用总结

(1) 我公司高品质余热、余能利用较好，2020 年自发电比率进一步提升。

(2) 烧结烟气循环实施后还处于试运行阶段，烧结烟气及烧结矿余热回收利用还处于部分实施阶段，若实现烧结余热全部回收后自发电比率将增加 5.37%，因此需加快这部分余热回收利用工作。

(3) 余热回收后在“按质用能，温度对口，梯级利用，热和能尽其利用”原则下还需进一步完善，提高综合效益。

(4) 高炉炉顶余压发电距离先进值还有较大差距，应从提高设备运转效率和控制调压阀组内泄上制定措施。

(5) 燃气锅炉废气余热回收上均有回收设施，在余热回收利用上还有一定空间。

(6) 低品质余热回收除冲渣水余热在冬季回收外，其它低品位余热回收还处在开发阶段。

### 5 结论

通过开展余热余能综合利用研究，开展余热余能回收设备升级改造、课题攻关、优化管理对提升余热余能的回收利用起到重要作用；现阶段加快开发中低品质余热、余能的回收和利用是进一步推动余热、余能利用的关键；通过辩证开发低品质余热的回收和利用对推动余热余能的回收和利用有促进作用。

#### [参考文献]

- [1]郭乃理,杨春生,肖鹏等.工业低温烟气废热回收与梯级利用技术的研究与应用[J].过程工程学报,2017,17(5):1091-1096.
  - [2]田靖,肖益民.浅谈锅炉烟气余热回收技术及其工程应用[J].制冷与空调,2013,27(6):552-555.
  - [3]赵斌,王子兵.热管及其换热器在钢铁工业余热回收中的应用[J].冶金动力,2005(3):34-36.
- 作者简介:高海印(1974.11-)男,汉族,河北省滦州市,助理工程师职称,大专学历,钢铁企业能源管理、能源回收及综合利用研究。