钢铁企业余热余能回收利用措施研究*

田 颖,孙 磊,王 雨,王晓凡

(包头钢铁(集团)有限责任公司节能环保中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章以某钢铁企业为例,分析了钢铁企业余热余能利用现状及存在问题、影响余热余能回收利用的主要因素,提出余热余能回收利用措施,通过回收低品质余热替代采暖蒸汽、增加发电用户消化富余蒸汽、关停及优化洗浴分散用户、新建燃气-蒸汽高效发电系统等,实施后可以做到区域供热平衡,减少蒸汽消耗,提高余热利用效率。

关键词: 余热回收; 供热平衡; 钢铁企业

中图分类号: F426.31 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)01-0001-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.01.001

Research on Measures for Recycling Waste Heat and Complementary Energy in Iron and Steel Enterprises

Tian Ying, Sun Lei, Wang Yu, Wang Xiao-fan

(*Energy Conservation and Environmental Protection Center of Baotou Iron & Steel (Group) Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, the present situations, existing problems for utilizing waste heat and complementary energy as well as the main factors influencing recycling waste heat and complementary energy in iron and steel enterprises are analyzed by taking an iron and steel enterprise as an example. Moreover, such measures for recycling waste heat and complementary energy as replacing heating steam by recycling low-quality waste heat, increasing power generation users to utilize surplus steam, shuting down and optimizing dispersive bathhouses as well as establishing new high-efficiency gas-steam power generation system are proposed so that the regional heating balance can be achieved, steam consumption can be reduced and utilization efficiency of waste heat can be improved after implement them.

Key words: waste heat recovery; heat balance; iron and steel enterprise

钢铁企业耗能量约占全国能耗量的10%,占整个工业部门能耗量15%~25%,目前我国大中型钢铁企业余热资源的利用率大约为30%~50%,普遍对二次能源的开发利用水平不高,与目前先进钢铁企业如济钢、宝钢(二次能源利用水平45%)相比存在较大差距,与国外发达国家如日本(二次能源利用水平80%)差距尤为明显[1]。因此,加大钢铁生产流程各工序的余热回收利用,分析与优化能耗,利用先进的节能技术提高二次能源利用率,降低生产成本,是实现生产流程的高能效、高品质、低排放甚至零排放的根本途径。

本文以某钢铁企业为例,通过分析余热、余能综合利用现状、影响余热、余能回收利用的主要因素,研究余热、余能回收利用途径,提出提高余热、余能

* 收稿日期: 2020-08-06

作者简介: 田 颖(1971-),男,内蒙古包头市人,硕士,正高级工程师,现从事环境污染治理工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

回收利用措施，为企业节能减排决策提供依据。

1 供热现状及用能优化潜力

1.1 供热现状

某大型钢铁企业热力系统按供热类型主要分为燃煤燃气锅炉蒸汽供热、余热锅炉蒸汽供热和余热热水供热，主要用于生产、鼓风、采暖及发电，其中回收余热供热（烧结烟气环冷、高炉冲渣水、焦炉煤气）项目已回收热量220 MW/h，供热面积400万m^2。

1.2 存在问题

1.2.1 低效用能情况

热电厂蒸汽锅炉存在高质热能低效使用情况，造成了高品质蒸汽的浪费。如高压锅炉产生的9.8 MPa的高温高压蒸汽，部分蒸汽被直接减温减压至3.5 MPa左右进入中压蒸汽管网，供汽鼓风和中压汽轮机发电；中压锅炉产生3.6 MPa左右的中压蒸汽，部分被直接减温减压至0.9 MPa左右进入低压蒸汽管网或直供炼钢、焦化、薄板、钢管、选矿等区域使用。

1.2.2 区域性供需不平衡

干熄焦锅炉存在采暖季减压、非采暖季外送问题；烧结余热锅炉存在热能供需不平衡，供能无法达到额定工况问题，目前该锅炉实际能力仅为设计能力的51%；炼钢、轧钢区域存在饱和蒸汽富余量大的问题，如炼钢、轧钢区域非采暖季富余量达32 t/h。

1.2.3 采暖、洗浴生活系统用汽量大

生产区采暖采用换热站加热水和蒸汽直接采暖两种情况，蒸汽直接采暖是一种低效的采暖方式，目前正在被逐步淘汰。包钢蒸汽管网庞杂，几乎遍布厂区各个角落，蒸汽系统除大量生产厂区用户外，还有大量外供蒸汽小用户。

1.3 余热回收潜力

1.3.1 区域性工艺余热回收潜力

目前尚未利用余热资源见表1。

1.3.2 采暖、洗浴等生活用热优化潜力

经统计，目前该企业约有职工浴池200余处。除部分小型浴池为电加热，其余全部为蒸汽加热，平均蒸汽用量约32 t/h，若采用余热热水供热，可置换该部分蒸汽用于发电，可增加发电量34.56 kW·h/a。

表1 待回收余热资源现状

区域	热源	温度/℃
焦化区域	焦炉初冷器高温段循环水	约70
	焦炉荒煤气	700～800
炼铁区域	高炉冲渣水	75
	高炉冷却壁冷却循环水	100
	烧结机高温烟气	250～400
炼钢区域	炼钢厂转炉高温烟气	250～1 000
轧钢区域	薄板厂镀锌退火炉NOF段高温烟气	300～400
	薄板厂镀锌退火炉RTF段高温烟气	600～700
	薄板厂硅钢线DF炉（涂层干燥炉）烧结段（明火段）烟气	470～530
	长材厂5座双蓄热加热炉高温烟气	300～400
	稀土钢板材厂冷轧连退线高温烟气	170
	稀土钢板材厂镀锌连退线高温烟气	170

2 余热回收利用影响因素

2.1 资金因素

未回收利用的余热资源中，很多余热回用项目已经列入规划，目前没有实施的主要原因是资金缺乏。由于近几年企业的资金非常紧张，一些节能项目没有及时建设，后续可以考虑采用合同能源管理方式利用外部资金实施。

2.2 区域供需条件不平衡

余热、余能在传输过程中有损耗，一般余热、余能都是在产生地点回收就近利用效益最好，如果无法做到就近利用，就需要考虑运输成本及损耗，运输距离过大，热能损耗过高则回收价值不高[2]。余热、余能利用也存在项目建成后因用户需求变化导致无法运行的问题。例如高炉冲渣水换热站是利用高炉冲渣水余热的节能项目，由于计划用户区域内已有先建成的焦化初冷水换热站和高炉软水密闭循环余热回收供热，可以满足需求，高炉冲渣水换热站因无供热用户没有运行。

2.3 余热蒸汽回收利用效率不高

余热锅炉回收的蒸汽存在转化率低、高质低用等问题。例如1#—4#干熄焦锅炉产生的中温中压蒸汽减压至0.45 MPa后利用，8#、9#煤气锅炉产生的高中压蒸汽减压使用。轧钢系统余热蒸汽利用效率低，且大量富余放散。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3　余热资源回收技术与应用

3.1　余热资源回收利用技术

目前国内余热余能回收的主流技术主要包括焦炉煤气上升管余热回收技术、初冷器循环水与循环氨水余热夏季制冷技术、热管换热技术、负压蒸氨技术、吸收式热泵技术及高炉冲渣水余热回收用于采暖供热技术，上述技术的应用可有效回收焦炉荒煤气余热、高炉冲渣水余热及烧结大烟道烟气余热，有效减少采暖及工艺蒸汽消耗，在减少工艺运行成本同时大幅提升副产物价值，综合效益明显。

3.2　余热锅炉蒸汽过热后发电技术

余热锅炉蒸汽发电技术是利用高温烟气对水进行加热，形成低压余热锅炉蒸汽，在汽轮机中膨胀做功，从而带动发电机发电。其系统组成结构主要包括余热锅炉、发电机、特种汽轮机和冷凝器等。通过采用余热锅炉，可以利用其省煤器、过热器和蒸发器等构件，让烟气自锅炉上方进入，经过这几个构件后，产生低压蒸汽，经过汽轮机做功，达到发电目的[3]。

目前该企业已经应用了焦化区域的上升管烟气余热回收技术、初冷器循环水余热回收技术，烧结区域的热管换热技术，炼铁区域的吸收式热泵技术，这些技术可在全公司推广应用。余热锅炉产生的蒸汽过热后发电技术可考虑在薄板区域应用，负压蒸氨技术可考虑在焦化区域应用。

4　余热回收及热能利用方案

根据余热热能品级及热力用户能耗需求制定热能利用优化措施。优化措施的整体思路是热能按质使用，效率最优。最终达到低品质热源充分供热、高品质热源足额发电、区域热力系统供热平衡的效果[4]。

(1) 回收余热、余能就近利用，满足区域内供热供需平衡。

(2) 回收利用低质热源用于采暖供热，置换采暖蒸汽(包括一部分高质中压蒸汽减压用于供热)用于发电等高效能用途。

(3) 消减蒸汽小用户。区域内浴池整合减少用户数量，管网偏远段的单独用户由蒸汽供热改为热力车输送、电锅炉等方式，减少热能运输损耗。

4.1　区域余热回收利用技术改造

结合生产各区域工艺余热品质及用户用热需求，提出的余热回收利用措施：高品质余热可通过余热锅炉产生饱和蒸汽用于发电；低品质余热回收可产生高温热水用于焦化区域、轧钢区域、市政区域采暖。各区域具体利用措施见表 2。

表 2　区域余热资源回收措施

区域	热源	温度/℃	回收方式	规划项目	回收蒸汽量/(t·h^{-1})
焦化区域	焦炉初冷器高温段循环水	约 70	改造提温后冬季采暖、夏季制冷	老体系 5#—6#焦炉	5.0
	焦炉荒煤气	700～800	焦炉荒煤气余热回收产生蒸汽	新体系 1#—4#焦炉煤气上升管	18.0
炼铁区域	高炉冲渣水	75	冲渣水换热后采暖	老体系 1#、3#、5#、7#高炉冲渣水	68.5
	高炉冷却壁冷却循环水	100	产生热水	1#、3#、4#、5#、6#、8#高炉壁冷却循环水	428.0
	烧结机高温烟气	250～400	产生蒸汽发电	1#、3#、4#、5#烧结机大烟道烟气余热利用	78.0
炼钢区域	炼钢厂转炉高温烟气	250～1 000	产生蒸汽发电	炼钢厂、钢管公司 7 台转炉余热回收	16.0
轧钢区域	薄板厂镀锌退火炉 NOF 段高温烟气	300～400	利用高温烟气产生热水	新建烟气余热高效回收系统，产生高温热水替代蒸汽	1.1
	薄板厂镀锌退火炉 RTF 段高温烟气	600～700	利用高温烟气产生热水	新建烟气余热高效回收系统，产生高温热水替代蒸汽	2.5
	薄板厂硅钢线 DF 炉(涂层干燥炉)烧结段(明火段)烟气	470～530	利用高温烟气产生热水	新建热水余热锅炉产生热水，用于区域洗浴和冬季采暖	1.6
	长材厂 5 座双蓄热加热炉高温烟气	300～400	汽化冷却产生蒸汽	水冷改造为汽化冷却	15.3
	稀土钢板材厂冷轧连退线高温烟气	170	利用高温烟气产生热水，加热漂洗介质和烘干风	高温热水漂洗介质、余热回收用于锅炉	11.1
	稀土钢板材厂镀锌连退线高温烟气	170	利用高温烟气产生热水，加热漂洗介质和烘干风	高温热水漂洗介质、余热回收用于锅炉	5.8

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4.2 区域余热锅炉蒸汽高效利用方案

通过调整焦化、烧结、炼钢、轧钢余热锅炉蒸汽流向，增加发电用户等手段，使余热锅炉蒸汽高效利用，在保证发电用户足额发电的同时，使各区域达到供热平衡。

4.2.1 焦化区域热力系统优化方案

通过新建焦化上升管烟气余热回收项目、优化25 MW抽凝式汽轮发电机实现抽气功能等措施，采暖季150 t/h蒸汽可用于发电，非采暖季180 t/h可全部用于发电。优化焦化区域内余热资源配置，实现蒸汽自平衡。煤气上升管、初冷循环水回收余热产生蒸汽在焦化区域内部消化，逐步达到焦化停送外部中压蒸汽条件，实现蒸汽自平衡。

4.2.2 烧结区域热力系统蒸汽利用方案

烧结机高温烟气余热可产生蒸汽约78 t/h。回收的这部分蒸汽可用于烧结工序自用或用于发电。

4.2.3 炼钢、轧钢区域热力系统蒸汽利用方案

采暖系统、生活用汽及工艺用汽优化后，非采暖季节，生活和工艺用汽显著降低，届时蒸汽富余，建议在炼钢区域建设一台6 MW凝汽式汽轮发电机组，配套凝汽器和冷却循环水系统，冷凝水全部回收利用，降低转炉生产所需软化水补水量。新建薄板区域4 MW凝汽式汽轮发电机组，非采暖季节发电。回收转炉工艺余热，VD炉、RH炉采用区域内富余蒸汽，同步停用外部管网蒸汽，实现蒸汽就地利用。

4.3 区域供热结构优化方案

提高余热利用效率，优化各生产区域工艺用热平衡，减少本区域蒸汽外供，也减少外部管网蒸汽供给，减少蒸汽运输损耗，调整老、新体系供热结构，可解决蒸汽远距离输送、热能低效利用等问题。

4.4 采暖及洗浴供热系统优化措施

可通过回收焦炉、高炉、轧钢及各区域公辅系统净环水等低质余热，置换蒸汽热源，可提高供暖能力，解决厂区及市政冬季供暖热量约400 MW；针对采暖、洗浴系统蒸汽消耗量大的问题，通过优化浴池使用蒸汽系统、消减蒸汽小用户，区域内澡堂整合减少用户数量，管网偏远段的单独用户由蒸汽供热改为热力车输送、电锅炉等方式，减少热能运输损耗，为各区域供热平衡创造基础条件。

4.5 燃气－蒸汽高效能发电方案

通过用能结构优化调整方案，提高余热利用率，高炉鼓风由汽动改为电动，消减蒸汽用量，淘汰煤粉、煤气锅炉，置换出的燃气用来高效能发电。可考虑新建两台165 MW CCPP机组，两台CCPP机组投产后，电力供应能力为1.9×10^9 kW·h/a，冬季余热锅炉可提供150 t/h(3.82 MPa、450 ℃)中压蒸汽、370 t/h(0.3 MPa、175 ℃)低压蒸汽，夏季余热锅炉可提供60 t/h(0.3 MPa、175 ℃)低压蒸汽用于公司各工序用热。

5 结论

(1)钢铁企业从原料、焦化、烧结、炼铁、炼钢、连铸到各轧钢工序，整个生产过程中仍存在大量可利用余热，开发潜力巨大。目前余热、余能回用率不高主要是受到资金不足、区域热能、热负荷不平衡、余热蒸汽回收利用效率不高等因素的影响。

(2)通过回收余热、余能就近利用，满足区域内供热供需平衡；回收利用低质热源用于采暖供热，置换采暖用蒸汽(包扩高质中压减压用于供热的部分蒸汽)用于发电等高效用途；消减蒸汽小用户，区域内浴池整合减少用户数量，管网偏远段的单独用户由蒸汽供热改为热力车输送、电锅炉等方式，减少热能运输损耗；新建燃气－蒸汽高效发电方案可淘汰低效燃气蒸汽锅炉，将置换出的燃气用于新建CCPP机组发电，可有效控制能源消耗总量，提高能源利用效率，在减少一次能源需求量的同时降低生产成本。

(3)余热、余能回收利用措施实施后可以实现热力系统区域供热平衡，能够有效提高余热、余能回用率，降低能耗，减少碳排放量，并将富余热能外供，服务社会。

参考文献

[1] 王淑玲. 节能减排实现钢铁企业可持续发展[J]. 中国科技信息，2014，(21)：77.

[2] 周玉磊. 首钢京唐钢铁厂余热回收及利用[J]. 冶金动力，2009，(6)：1－3.

[3] 李冰. 钢铁工业余热、余能资源利用途径及潜力分析[J]. 节能与环保，2015，(11)：41－42.

[4] 许相波，陈小芸. 梅钢应用余能回收技术的实践与探索[J]. 宝钢技术，2015，(1)：33－34.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net