

The Development and Exploration of Waste Energy Utilizing Technology for Iron and Steel Industry

Liu Baiqian, Tan Peilai, Wang Ligang

Energy engineering department of University of Science and Technology Beijing,
100083, 30xueyuan Road, Haidian, Beijing, P.R.China

Abstract: Some new waste energy utilizing technologies based on a review of waste energy utilization technology up to date and a comment of disparity between China's iron and steel industry and advanced country have been provided. These new technological ideas put forward by authors including the first, tunnel boiler and powdered through water quenching times without number for metallurgic molten slag. The second, air cooling chamber technology for hot sinter solid. The third, high temperature particle size dividing for circulating fluidized bed boiler drained ash cooling as well as the fourth of high temperature gas-solid separation with particulate bed of multi-density, multi-size, multi-layer for blast furnace gas to replace bag house filter which is scared of fluctuations of temperature and moisture.

Keywords: waste energy, heat recovery, hot solid, molten slag, high temperature gas-solid separation

钢铁企业技术节能和新节能技术探索

刘柏谦 谭培来 王立刚

北京科技大学热能工程系 北京市海淀区学院路 30 号, 中国, 100083
E-mail: liubq@ustb.edu.cn

【摘要】 回顾了我国钢铁企业能源利用现状和中国钢铁工业能耗与先进水平的差距, 评价了可以用在钢铁生产中的余热回收技术。介绍了作者学术梯队研发的四项节能技术: 回收熔融冶金渣的隧道锅炉+渐次水淬技术、回收高温烧结矿余热的烧结矿冷炉技术、回收循环流化床锅炉高温灰渣余热的高温粉体分选流化床冷渣器和针对高炉荒煤气除尘提出的异重多尺寸均匀涨落颗粒床高温气固分离技术。

【关键词】 废能; 废热回收; 高温固体; 高温熔融渣; 高温气固分离;

1. 前言

工信部预计 2010 年全国钢产量将达 6.2—6.3 亿吨。钢产量越高, 能耗越高, 节能任务越重。中国钢铁企业与先进水平差距, 或为差距 9% 或具有 23.78% 节能潜力期望 [1]、或钢铁生产余热回收利用仅 25.8% [2]、或我国钢铁余能资源仅利用 45.6% [3]。反映以下几个事实: a. 中国与先进水平有较大能耗差距;

b. 钢铁企业余热资源量大, 品位不低; c. 中国钢铁企业间能耗差距相当大; 能源消耗与 CO₂ 排放的木桶效应主要决定于最宽的矮板。2009 年 5 月时, 我国尚有 7500 万 t/a 小高炉运行。小高炉能耗比大高炉高 80~90 kgce/t [4]。表 1 给出了中国钢铁企业之间的能耗差距。

Table 1. Extreme Energy Consumption Values of Iron and Steel Plant 2008, kgce/t^[4]
表 1 2008 年中国钢铁企业能耗对比 kgce/t^[4]

项目	综合	可比	烧结	球团	焦化	炼铁	转炉	电炉	轧钢
落后值	783.45	842.40	91.21	49.44	335.05	530.74	38.04	177.43	238.18
先进值	556.64	504.00	39.04	17.44	61.33	363.85	-12.95	37.19	27.32
差值	226.81	338.40	52.17	32.00	273.72	167.29	50.99	140.24	210.86

2. 中国钢铁能耗与先进水平的差距

文献 [5] 称国外先进钢铁企业对余热、余能和副产煤气等回收率在 90% 以上, 国内钢铁企业只有 30%~50%。

3. 中国钢铁节能底数

中国钢铁行业的节能潜力有不同说法。

说法 1: “国内余热发电市场高达 400 亿。钢铁工业领域余热发电市场约 150 亿元 [6]”。

说法 2: 中国钢铁流程工业能耗具有 23.78% 的节能空间[1];

说法 3: 文献[5]调查了 20 个大中型钢铁企业, 没有考虑中小企业, 给出了高温、中温和低温余热回收利用情况。文献[5]成文时, 低温余热利用 0.0692%, 中温余热利用 30.14%, 高温余热利用 44.35%。钢铁工业生产 1t 钢产生的余热约为 8.4 GJ, 目前回收利用的仅有 25.8%。

4. 废热回收的特定技术

4.1 有机朗肯循环[7-12]和热泵

有机物朗肯循环是以低沸点有机物为工质的闭式朗肯循环。用于冶金超低温热源的废热回收最大问题是发出的电力功率小; 热泵主要是低温热能回收利用, 难于在钢铁企业的应用。

4.2 气态废热回收

冶金废气大多处于中温水平。回收多采用废热锅炉, 是否发电取决于废热量和经济因素。

4.3 烧结矿废热回收【13-19】

烧结矿废热主要采用空气回收。根据不同烧结矿量和烧结机大小采用不同的集气罩长度和数量。气体冷却后的烧结矿通常用环冷机等装备冷却。

4.4 干熄焦技术【20-23】

干熄焦可以有效回收炼焦工序余热, 已成为大型钢铁联合企业的重要装备。用惰性气体回收焦炭热量, 再将热量转给余热锅炉用来发电。首钢 227m³ 干熄炉年综合效益达 1087 万元。

4.5 相变储能材料[24-26]

相变潜热储能是同时利用物质热容和物态变化来储存热能, 具有至少高出显热储能系统一个数量级的储能密度。根据相变材料的封装和工作方式的不同, 用于余热回收的相变储能系统大致可以分为热管换热器、蓄热室式相变储热系统, 潜热/显热复合储热材料 3 类。

5. 冶金节能减排实用技术研发

5.1 液态熔融冶金渣废热回收

文献[32]按中国冶金渣产量 1.2 亿 t 考虑, 认为可以建设日产 1000t 的“液态渣收热生产线”400 条。文献[33]认为,“熔渣余热是钢铁企业唯一没有利用的

二次能源”。“(除离心粒化技术外)其它干式粒化工艺都未见后续报道、机械粒化法大都存在粒化效果差、处理效率低、热回收效果不佳、设备结构复杂、可靠性低等缺点”。

5.1.1 风淬技术

文献[28-29]介绍的是日本的风淬技术, 文献[30]综述了各种冶金渣废热回收技术。文献[31]介绍了风淬技术在国内使用的具体情形。1981 年, 新日铁申请风淬处理液态渣工艺专利[32]。1981 年 11 月, 日本钢管和三菱重工建设了风淬法示范厂[33]。

5.1.2 水淬技术

文献[34]详细介绍了水淬技术的原理、设计参数、技术要点和设计需要规避的问题。文献[35-38]介绍了国内一些水淬技术应用实例。

5.1.3 隧道锅炉

作者设想了隧道锅炉和渐次水淬方法回收熔融渣废能[39]。

5.2 固态颗粒物废热回收

循环流化床锅炉 800℃ 以上温度的灰渣在使用传热系数不高于 60 (Ws-2K-1) 的滚筒冷渣器, 拒绝传热系数 70~250 (Ws-2K-1) 的流化床冷渣器[40]。烧结矿在使用环冷机等占地多、金属消耗量大、机械复杂、造价高装置[18-19]。

5.2.1 高温烧结矿(最大颗粒度 300mm)废热回收技术

温烧结矿至少具备 700℃ 高温, 平均颗粒尺寸 100mm。不应简单用风吹冷, 获得低品位热能。作者提出用“冷矿炉”回收烧结矿热火用联合余热锅炉形成联合发电系统的技术主张。相关计算显示, 24m² 烧结机在设备寿命周期内, 可获净收益 6300 万[41]。

5.2.2 高温粉体废热回收技术

中国循环流化床锅炉电厂无法保证入炉颗粒尺寸, 被迫使用滚筒冷渣器。可采用排渣高温分选技术, 保证流化床冷渣器可以接受的颗粒进入主流化床冷渣器回收[42]。

5.3 异重多尺寸均匀涨落床高温气固分离技术

现有颗粒床除尘“将颗粒床看成是机械过滤”。一些专利装置的流化数出现大跳跃, 可能导致运行时局部空床和反吹运行时丢失床料。作者提出了“异重多尺寸均匀涨落高温颗粒床气固分离技术”。在前人基础

上,增加了“等压颗粒床表面+所有颗粒具有相同流化数”要求[43]。

6.结束语

钢铁冶金是能耗最大的工业过程之一,中国现行技术与先进技术之间存在着明显的能耗差距。缩小、消除这些差距,以至于超越现有技术是当代中国能源理论与技术研究的重要使命。本文介绍了作者在熔融态冶金渣、高温烧结矿、高温粉体等工业废热回收领域和高温气固分离领域提出的初步想法,抛砖引玉,敬请不吝赐教!

References (参考文献)

- [1] Guo Hanjie Yin Zhiming. Energy conservation Potential of Iron and Steel Industry of China [J], *Journal of Iron and Steel*, Vol.42, No.2, 2007.2
郭汉杰,尹志明,钢铁冶金流程节能空间研究,钢铁,第42卷第2期2007年2月
- [2] Cai Jiujie, Du Tao Chen Chunxia Dong Hui. The Study of Waste heat resource and Key recovery Technology, Proceedings of Iron and Steel Industry annual meeting 2007, vol.1, 408
蔡九菊 杜涛 陈春霞 董辉,钢铁企业余热资源的回收利用及关键技术研究, 2007 中国钢铁年会论文集, pp1-408
- [3] Wang Jianjun Cai Jiujie Chen Chunxia Li Guangshaung Zhang Qi. Investigation Report of Waste heat resource of Iron and Steel Industry[J], *Journal of Industrial Heating*, Vol.36, No.2, 2007
王建军, 蔡九菊, 陈春霞, 李广双, 张琦, 我国钢铁工业余热余能调研报告, 工业加热, 第36卷 2007年第2期
- [4] http://www.chinasie.org.cn/newmore_tb.asp?id=16209
- [5] Cai Jiujie Wang Jianjun Chen Chunxia Lu Zhongwu. Recovery and Utilization of Waste heat of Iron and Steel Industry[J], *Journal of Iron and Steel*, Vol.42, No.6, 2007.6
蔡九菊,王建军,陈春霞,陆钟武,钢铁企业余热资源的回收与利用,第42卷第6期2007年6月钢铁
- [6] Huang Dong Du sheng. Domestic Waste heat Market Volume is as High as 40 thousand million RMB, China Economy Weekly, 2008.3
黄冬、渡生,国内工业余热发电市场高达400亿,中国经济周刊 2008年第3期
- [7] W. Nowak, A. Borsukiewicz-Gozdur, A.A. Stachel, *Using the low-temperature Clausius-Rankine cycle to cool technical equipment*, Applied Energy 85 (2008) 582-588
- [8] A. Schuster, S. Karellas, E. Kakaras, H. Spliethoff, *Energetic and economic investigation of Organic Rankine Cycle applications*, Applied Thermal Engineering 29 (2009) 1809-1817
- [9] A. Schuster, S. Karellas, R. Aumann, *Efficiency optimization potential in supercritical Organic Rankine Cycles*, Energy (2009), doi:10.1016/j.energy.2009.06.019
- [10] Li Jing Pei Gang Ji Jie. The Key Factor Analysis of Solar Energy Organic Rankine cycle Low Temperature Power Generation[J], *Journal of Chemical Engineering*, Vol.60, No.4, 2009.4
李晶,裴刚,李杰,太阳能有机朗肯循环低温热发电关键因素分析,第60卷第4期,化工学报,2009年4月
- [11] Nishith B. Desai, Santanu Bandyopadhyay, *Process integration of organic Rankine cycle*, Energy 34 (2009) 1674-1686
- [12] Tzu-Chen Hung, *Waste heat recovery of organic Rankine cycle using dry fluids*, Energy Conversion and Management 42 (2001) 539-553
- [13] Antonio C. Caputo, Pacifico M. Pelagagge, *Fuzzy control of heat recovery systems from solid bed cooling*, Applied Thermal Engineering 20 (2000) 49-67
- [14] A.C. Caputo *, P.M. Pelagagge, *Heat recovery from moving cooling beds: transient modeling by dynamic simulation*, Applied Thermal Engineering 19 (1999) 21-35
- [15] N. Menad, H. Tayibi, Fernando Garcia Carcedo, A. Hernandez, *Minimization methods for emissions generated from sinter strands: a review*, Journal of Cleaner Production 14 (2006) 740-747
- [16] P. M. Pelagagge, A. C. Caputo and G. Cardarelli, *COMPARING HEAT RECOVERY SCHEMES IN SOLID BED COOLING*, Applied Thermal Engineering Vol. 17, No. 11, pp. 1045-1054, 1997
- [17] Antonio C Caputo, Pacifico Pelagagge, *Economic design criteria for cooling solid beds*, Applied Thermal Engineering 21(2001)1219-1230
- [18] Group Edited. Sinter Process[M], Beijing: metallurgy industry Press, 1981.1
烧结矿生产编写组编写《烧结矿生产》,冶金工业出版社, 1981.1
- [19] Ferrous metallurgy Institute edited. Design manual book for Sinter[M], Beijing: metallurgy industry Press, 1990
冶金工业部长沙黑色冶金矿山设计研究院编《烧结矿设计手册》冶金工业出版社, 1990
- [20] Tang Changgeng Li Peng. CDQ performance and feature of Capital Iron and Steel company[J]. *Journal of fuel and Chemical Engineering*, 2001.9
汤长庚李鹏,首钢干熄焦装置的特点及性能,燃料与化工, 2001年9月
- [21] Yan Yu, Installation technology of CDQ equipment, Master degree thesis of Chongqing University, 2007.10
颜钰,干熄焦设备安装技术研究与实践,重庆大学工程硕士学位论文, 2007.10
- [22] Pan Lihui Wei Songbo. Coke Dry Quenching [M], Beijing: metallurgy industry Press, 2005
潘立慧,魏松波等编著《干熄焦技术》冶金工业出版社, 2005
- [23] Shanghai 5th overhaul company, Maintenance and overhaul Technology for CDQ equipment[M], Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press, 2006
上海五冶检修公司《干熄焦设备状态维护与检修技术》上海交通大学出版社, 2006
- [24] Fu Ying Zeng Lingke Wang Hui Liu Yanchun. Utilization progress of Industrial Waste Heat Recovery Using Phase Change Material[J], *Journal of Industrial fuence*, Vol.31, No.5, 2009.9
付英,曾令可,王慧,刘艳春,相变储能材料在工业余热回收领域的应用研究进展,工业炉,第31卷第5期2009年9月
- [25] Guo Chaxiu Wei Xinli. Heat Energy Restoring Technology[M], Beijing: Chemical engineering Press, 2005
郭茶秀 魏新利《热能储存技术与应用》化学工业出版社 2005
- [26] Liu Baiqian Hong Hui Wang Ligang. Introduction to Energy Engineering[M], Beijing: Chemical engineering Press, 2009
刘柏谦 洪慧 王立刚《能源工程概论》化学工业出版社, 2009
- [27] Zheng Zhong He Lamei Gao Xiaoqiang Gao Jiarui. Energy Saving and Sustainable Development of Chinese Iron and Steel Industry [J], *Journal of Iron and Steel*, Vol.39, No.4, 2004.4
郑忠 何腊梅 高小强 高家锐,我国钢铁企业的节能与可持续性发展,钢铁, 2004年4月,第39卷第4期
- [28] Sun Shichun Zhang Jiayu. Air Quenching Technology for Molten Slag [J], *Journal of Iron and Steel*, 1986
孙士纯译,张家裕校,转炉熔融渣的风淬,炼钢, 1986
- [29] Joji Ando et al. Air Quench and Its Heat Recovery System for purified Oxygen Converter Slag [J], *Journal of metallurgy energy resource*, Vol.4, No.5, 1985.9
Joji Ando等,氧气顶吹转炉渣风淬粒化和热回收系统的开发,冶金能源第4卷5期1985.9
- [30] G. BISIO, ENERGY RECOVERY FROM MOLTEN SLAG AND EXPLOITATION OF THE RECOVERED ENER, *Energy* Vol. 22, No. 5, pp. 501-509, 1997

- [31] Wng Zhanying Nie Yongqiang. Discussion of Air Quench Process [J], *Journal of Hebei metallurgy*, 1995, No.6, 王占英 聂永强, 转炉钢渣处理风淬工艺的探讨, 1995.12《河北冶金》第6期总第90期
- [32] Wang Xiaoxi Zou Hanwei. Sensible Heat Recovery and its prospect [J], *Journal of ferroalloy*, 2007, No.5 王晓曦邹汉伟, 液态渣显热回收技术现状及前景分析, 铁合金, 2007年第5期总第196期
- [33] Dai Xiaotian Qi Yuanhong Zhang Chunxia. Molten Slag Pelleting and its Waste Heat Recovery [J], *Journal of Gangtie Yanjiu Xuebao*, Vol.20, No.7, 2008.7 戴晓天, 齐渊洪, 张春霞, 熔融钢铁渣干式粒化和显热回收技术的进展, 钢铁研究学报, 第20卷第7期, 2008年7月
- [34] Xie Lianghuai Molten Slag Water Quench Technology and its Benefit [J], *Journal of Iron and Steel*, Vol.2, No.8, 1987.8 谢良怀, 钢渣水淬工艺技术效益, 钢铁, 1987年8月第22卷第8期
- [35]]Chen Sen. Design method of Water Quench of Converter furnace Technology [J], *Journal of Wugang Technology*, 1982, No.4 陈森, 转炉钢渣水淬工艺与设计问题的探索, 武钢技术, 1982年第4期;
- [36] Chen Sen. Water Quench Technology of Converter furnace [J], *Journal of Iron and Technology*, Vol.21, No.6, 1986 陈森, 转炉钢渣水淬工艺与设计问题的探索, 钢铁, 第21卷第6期, 1986年6月
- [37] Yang Xianli Song Yihua. Water Quench Technology in Jigang converter furnace [J], *Journal of Iron and Technology*, app. Vol.34, 1999.10 杨宪礼 宋宜华, 济钢25t转炉钢渣水淬工艺技术的应用, 钢铁, 1999年10月, 第34卷增刊
- [38] Shen Xiaocheng. Roller Status and Its Development for Molten Slag Treatment [J], *Journal of metallurgy equipment*, 2003 No.3 沈成孝, 滚筒法渣处理技术的现状及发展, 冶金设备总第139期, 2003年6月第3期
- [39] Chinese patent: A Method of Waste Heat Recovery for Molten Slag, application No.201010132721.X 中国专利: 一种高温物料物理热回收工艺 201010132721.X
- [40] He Xiaoyang Chen Hanping Liu DeChang. Selection and application of Ash Cooler of circulating fluidized bed boiler [J], *Journal of Energy Saving and Enviroment protcyion*, 2007 No.6 贺晓阳, 陈汉平, 刘德昌, 典型循环流化床锅炉冷渣器及选型初探, 节能环保技术, 2007.No.6)
- [41] Chinese patent: A Method of Waste Heat Recovery for Hot Solid Sinter, application No. 201010243360.6 中国专利: 一种回收高温固体废热方法及其装置和系统 201010243360.6
- [42] Chinese patent: A Size Dividing Method for High Temperature Drained Ash From Circulating Fluidized Bed Boiler, application No. 2009101437823 中国专利: 带有高温颗粒粒级分选机构的循环流化床锅炉冷渣器 2009101437823
- [43] Chinese patent: A particulate Bed gas-solid Separator with features of multi-density, multi-size, multi-layer for hot operation condition, application No. 200910224277.1 中国专利: 异重多尺寸均匀涨落颗粒床 200910224277.1