

文章编号: 1001—5108(2011)05—0045—04

余热利用技术在首钢的应用

陈冠军

(首钢技术研究院, 北京 100043)

【摘要】 首钢在新建首秦、迁钢和京唐三地钢厂过程,通过余热直接利用、余热发电等技术应用,不断提高余热利用水平。在粗钢产量实现3154万t的同时,首钢2010年吨钢综合能耗降至618 kgce/t。在介绍副产煤气和蒸汽的回收利用现状基础上,介绍了轧钢系统采取换热器、蓄热式燃烧和热装热送等技术应用情况;重点阐述了余热发电情况如TRT发电、干熄焦发电(CDQ)和高炉煤气发电,表明余热发电大型化、高效化发展趋势和解决钢铁用电的重要作用,同时指出首钢余热利用技术开展的难点是低温余热利用和高炉熔渣显热利用。

【关键词】 钢铁 余热利用 节能

【中图分类号】 TQ171.6+25.9 **【文献标识码】** B

APPLICATION OF WASTE HEAT RECOVERY TECHNOLOGY IN SHOUGANG

Chen Guanjin

(SHOUGANG Research Institute of Technology, Beijing 100043, China)

[Abstract] Utilization efficiency is improved by technology application such as waste heat direct-utilization and power generation in the process of three new-built steel plants such as SHOUQIN, QIANGANG and JINGTANG. Energy consumption per-ton of SHOUGANG is 618kgce. t⁻¹ with its crude steel output reaching 31.540 million tons in 2010. On the base of introducing recovery and utilization of by-product gas and steam, technology applications such as heat exchanger, regenerative combustion, hot charge rolling in steel rolling are illustrated, waste heat power generation such as TRT, CDQ and BFG is illuminated on stress. It shows that the developing direction of waste heat recovery and utilization is large-scale and high-efficiency, and it has the important function to solve power in the steel enterprises, and the difficulty of waste heat recovery in SHOUGANG is the recovery of lower temperature waste heat and BF molten slag.

[Key words] steel, waste heat recovery, energy-saving

1 前言

钢铁工业是以石化燃料为主的高污染高能耗产业,其能耗占工业总能耗的25%左右,是工业节能的重点^[1]。为实现中国钢铁工业的可持续发展,国

家出台了钢铁产业结构调整、淘汰落后产能的系列政策,钢铁节能工作并取得很大成效,钢铁综合能耗从2000年920 kgce/t降至2010年的612 kgce/t^[2-3]。首钢作为国内大型钢铁企业,在2010年世界500强企业名列325位,粗钢产量从1996年的

收稿日期:2011-09-04

作者简介:陈冠军,男,教授级高工,主要从事冶金热能领域的研究和应用及开发。

792 万 t 增长到 2010 年的 3154 万 t, 吨钢综合能耗从 1996 年的 992 kgce/t 降至 2010 年的 618 kgce/t。首钢的节能降耗与历年实施的节能技术改造紧密关联^[4], 主要以余热(能)利用技术为主, 如 TRT、干熄焦发电, 汽化冷却、蓄热式燃烧、烟气余热利用和副产煤气回收利用等。

2 余热利用技术概况

余热资源占钢铁能源消耗总量的 40% 左右^[5], 在 2010 年首钢北京厂区停产前, 首钢就开展实施了多项余热利用技术, 为新建钢厂提供宝贵经验。如首钢炼铁厂 2 号高炉上配备的 5.7 MW 湿式压差发

电系统于 1983 年投产; 首钢炼铁厂 4 号高炉上配备的湿式 6.4 MW 压差发电系统于 1996 年投产; 1 号和 2 号高炉分别配备 12 MW 压差发电系统, 于 2003 年投产, 到 2006 年压差发电最高达 1.89 亿 KWH; 首钢焦化厂的 1 号和 3 号焦炉分别配备 12 MW 干熄焦系统, 分别于 2004 和 2006 年投产, 到 2006 年最高发电量为 0.66 亿 KWH; 首钢电力厂三台锅炉采取掺烧高炉煤气和一台全烧高炉煤气锅炉发电能力为 3×50 MW, 2009 年发电 12.56 亿 KWH。余热利用技术在首钢新建三地(首秦、迁钢和京唐)钢厂不断得到应用, 主要余热(能)利用技术应用情况如表 1 所示。

表 1 首钢新建三地钢厂主要余热(能)利用技术

名称	首秦	迁钢	京唐
TRT 发电	采用	采用	采用
干熄焦发电	无焦炉	无焦炉	采用
汽化冷却	转炉、加热炉	转炉、加热炉	转炉、加热炉、环冷机
蓄热式燃烧	加热炉	加热炉	加热炉、钢包
热装热送	采用	采用	采用
烟气余热利用	热风炉、转炉、加热炉、环冷机	热风炉、转炉、加热炉	热风炉、转炉、加热炉、环冷机、焦炉
副产煤气回收	高炉、转炉煤气	高炉、转炉煤气	高炉、焦炉、转炉煤气

3 余热资源利用现状

3.1 副产煤气利用情况

首钢三地钢厂副产煤气离零排放要求较远, 尚有开发利用空间^[6]。高炉煤气与焦炉煤气放散率如图 1(a) 所示, 三地高炉煤气放散率均超 8%, 焦炉煤气放散率为 3.3% 左右, 三地钢厂转炉煤气回收量如图 1(b) 所示, 京唐转炉煤气回收量为 84 Nm³/t, 首秦与迁钢转炉煤气回收量均超 110 Nm³/t。

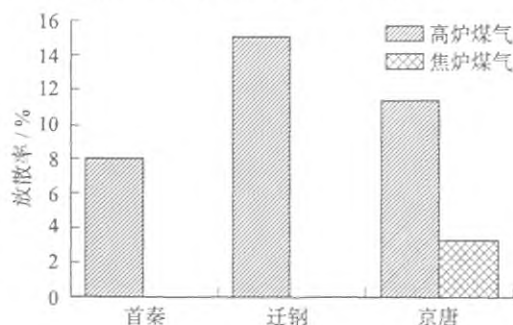


图 1(a) 高炉煤气及焦炉煤气放散率

3.2 余热蒸汽情况

采取汽化冷却技术回收烧结系统环冷机废气余热, 炼钢系统采用汽化冷却技术转炉高温烟气, 轧钢系统采取汽化冷却技术冷却加热炉炉内部件, 首钢新建三地钢厂烧结、炼钢和轧钢系统蒸汽回收情况

如图 2 所示。可知, 烧结系统余热蒸汽回收量最少 20 ~ 30 kg/t, 三地炼钢系统蒸汽回收量均大于 80 kg/t; 轧钢系统余热蒸汽除迁钢蒸汽回收量较少外(炉尾烟气排放温度为 400℃ 左右), 首秦和京唐轧钢系统余热蒸汽回收量均较大, 但是由于回收蒸汽

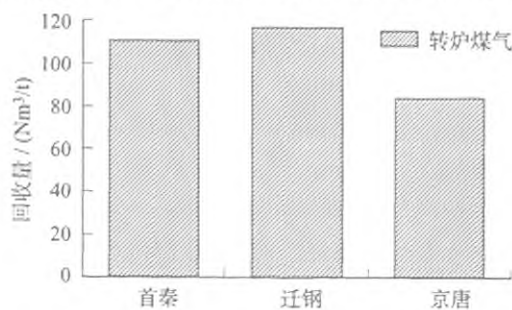


图 1(b) 转炉煤气回收量

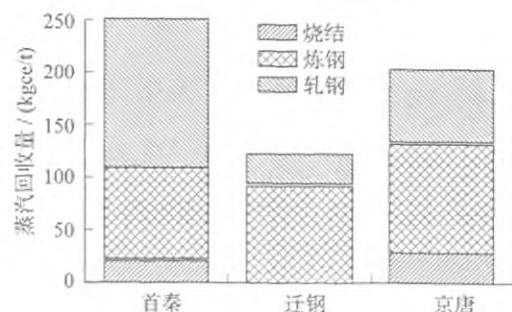


图 2 烧结、炼钢和轧钢系统蒸汽回收量

均为中低压蒸汽,故在使用方面很受限制。

4 余热直接利用

余热直接利用具有高效、经济、方便和简单等优点。在首钢新建三地钢厂各工序流程普遍采用,如首秦、迁钢和京唐三地高炉共24座热风炉均采用热管换热器预热煤气和助燃空气,京唐利用部分热风炉废烟气预热制粉。首秦采用烧结热风点火,京唐烧结系统采取热风循环预热烧结矿。首钢三地轧钢

系统余热直接利用技术情况如表2所示,迁钢4座2160 mm和京唐1座2250 mm轧钢加热炉废烟气采取换热器技术预热助燃空气和煤气;首秦两座4300 mm轧钢加热炉采取蓄热燃烧技术预热煤气和助燃空气;迁钢3座1580 mm、京唐2250 mm和1580 mm各3座轧钢加热炉均采用蓄热式燃烧技术预热助燃空气;首秦、迁钢和京唐轧钢系统均采取了热装热送技术,其中热装热送率分别实现40%、23%和48%。

表2 首钢新建三地钢厂轧钢系统余热直接利用技术情况

单位	轧机	加热炉座数	换热器	蓄热式燃烧	热装热送
首秦	4300mm	2	-	预热助燃空气和煤气	40%
迁钢	2160 mm	4	预热助燃空气和煤气	-	23%
	1580 mm	3	预热助燃空气和煤气	预热助燃空气	
京唐	2250 mm	4	预热助燃空气和煤气	预热助燃空气	48%
	1580 mm	3	预热助燃空气和煤气	预热助燃空气	

5 余热(能)发电情况

随着余热利用技术的不断进步,余热利用发电向大型化、高效化方向发展,如干式TRT逐步替代湿式TRT,高温高压干熄焦替代传统干熄焦,全高炉煤气和CCPP发电替代传统燃煤锅炉发电^[8]。

5.1 TRT发电

首钢新建三地钢厂高炉TRT发电配置情况如表3所示,首秦高炉采取重力和布袋二级干式除尘系统,1号高炉(1200 m³)配备6.4 MW压差发电系统和2号高炉(1800 m³)配备10MW压差发电系统分别于2005年和2007年投产;采取湿法除尘的迁钢1号高炉(2650 m³)配备15 MW压差发电系统和采取重力和布袋二级干式除尘的迁钢2号高炉(2650 m³)配备15MW压差发电系统于2007年投产,迁钢3号高炉(4000 m³)采取重力和布袋二级干式除尘,配备30 MW压差发电系统于2010年投产;京唐1号和2号高炉(5500 m³)采取旋风和布袋二级干式除尘,配备36.50 MW压差发电系统分别于2009年和2010年投产。

表3 首钢新建三地钢厂高炉TRT发电配置情况

单位	名称	容积(m ³)	类型	TRT发电能力	投产时间(年)
首秦高炉	1号	1200	二级,干式	6.4 MW	2005
	2号	1800	二级,干式	10 MW	2007
迁钢高炉	1号	2650	二级,湿式	15 MW	2007
	2号	2650	二级,干式	15 MW	2007
	3号	4000	二级,干式	30 MW	2010
京唐高炉	1号	5500	二级,干式	36.5 MW	2009
	2号	5500	二级,干式	36.5 MW	2010

5.2 干熄焦发电

首钢焦化干熄焦(CDQ)发电配备情况如图4所示,其中迁化焦炉(55孔)一期和二期分别配备2×15 MW干熄焦发电系统,分别于2004年和2008年投产,京唐1号和2号焦炉(70孔)分别配备30 MW干熄焦发电系统,分别于2009年和2010年投产。

表4 首钢焦化干熄焦发电配备情况

单位	名称	CQD发电能力	投产时间(年)
迁化焦炉	一期	2×15 MW	2004
	二期	2×15 MW	2008
京唐焦炉	1号	30 MW	2009
	2号	30 MW	2010

5.3 高炉煤气及CCPP发电

首钢新建三地钢厂高炉煤气及燃气-蒸汽联合循环发电(CCPP)发电情况如表5所示。首秦利用高炉煤气发电,设备能力为15MW,于2007年投产;迁钢配备2×25 MW全高炉煤气锅炉发电于2007年投产,150 MW燃气-蒸汽联合循环发电(CCPP)于2011年投产;京唐1号和2号300 MW燃煤-燃气混烧锅炉发电分别于2009年和2010年投产,1号和2号150 MW燃气-蒸汽联合循环发电

表5 首钢三地高炉煤气及CCPP发电情况

单位	发电技术	设备能力	投产时间(年)
首秦	高炉煤气锅炉发电	15 MW	2007
迁钢	高炉煤气锅炉发电	2×25 MW	2007
	CCPP发电	150 MW	2011
京唐	1号燃煤-燃气混烧锅炉发电	300MW	2009
	2号燃煤-燃气混烧锅炉发电	300MW	2010
	1号CCPP发电	150MW	2009
	2号CCPP发电	150MW	2010

(CCPP) 分别于 2009 和 2010 年投产。

此外,迁钢利用转炉烟气余热采取螺杆膨胀动力发电能力 2×6 MW 于 2008 年投产,首钢矿业公司利用烧结余热发电能力为 26 MW 于 2011 年投产。

首钢新建三地钢厂自发电比例与余热发电占自发电比例如图 3 所示。可知,首秦自发电比例最低,仅为 14%,但余热发电占自发电比例最高为 45%,迁钢自发电比例居中,为 54%,而京唐自发电比例最高,为 94%,迁钢与京唐余热发电占自发电比例均为 14%~15% 左右。

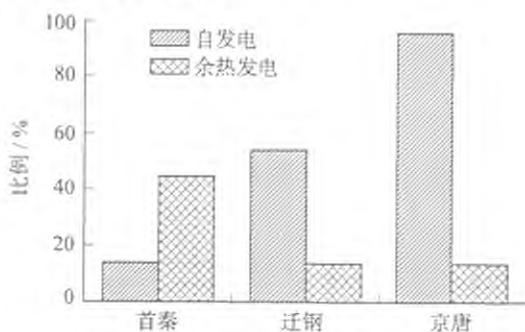


图3 首钢新建三地钢厂自发电比例与余热发电占自发电比例

6 余热利用技术难点

从首钢近年新建钢厂来看,由于余热利用技术的成熟,中高温余热及副产煤气资源利用最高,如热风炉烟气余热、转炉烟气余热和焦炭余热,而难回收的高温熔渣如高炉渣显热(占 $16 \sim 18$ kgce/t 钢)和钢渣显热(占 $10 \sim 12$ kgce/t 钢)利用不佳,焦炉上升管余热还没有回收,特别是冷却水、低温排放废气等低品位余热目前还没有利用^[9]。如首钢三地的高炉渣均采用循环水冲渣技术处理,但造成水污染和损耗,除少数钢厂冬天采取部分冲渣水采暖外,目前几乎没有利用^[10];2007 年使用热闷法处理钢渣技术在迁钢开展实施,2011 年在京唐开展实施,但是钢渣显热也没有有效回收^[11]。高炉冷却水温度为 $40 \sim 50^\circ\text{C}$,显热占 20 kgce/t 左右,也没有利用,此外,低温排放废气尚有不少显热没有利用,故对于上面难回收的余热及其回收利用技术还有待进一步研究和开发。

针对余热利用难点问题,在统一规划余热资源基础上综合设计余热资源利用方案是实现余热利用的有效方法,其基本原则是逐级回收,温度对口,梯级利用^[12]。如低温余热冷却水采取热泵技术提高水温实现采暖,将低温低压蒸汽与补燃富余高炉煤气或转炉煤气联合提高蒸汽品位发电;或用蒸汽驱动替代部分电动可以减少用电量;特别是应当提高

余热发电比例,减少燃煤发电比例,降低钢铁用电成本,故利用低温余热发电是今后有待进一步突破的技术难点。

7 结语

(1)余热利用如 TRT、干熄焦发电,汽化冷却、蓄热式燃烧、烟气余热利用和副产煤气回收利用等技术在首钢近年新建钢厂过程,不断得到应用,产量和余热利用率不断提高,而吨钢综合能耗不断下降。

(2)首钢副产煤气资源如焦炉煤气,高炉煤气与零排放还有一段距离,转炉煤气回收利用较好;三地烧结、炼钢和轧钢余热蒸汽还有富余,有待进一步开发使用。

(3)在首钢新建三地钢厂炼铁热风炉烟气预热助燃空气和煤气,烧结热风循环和点火,轧钢系统采用换热器、蓄热式燃烧和热装热送等余热直接利用技术具有高效,经济、方便和简单等优点,值得推广应用。

(4)余热发电向大型化、高效化方向发展,如干式 TRT 逐步替代湿式 TRT,高温高压干熄焦替代传统干熄焦,全高炉煤气和 CCPP 发电替代传统燃煤锅炉发电。自发电比例不断提高,但余热发电比例偏低。

(5)高温熔渣显热和低温冷却水和废气是余热利用的难点,统一规划余热资源基础上综合设计余热资源利用方案是实现余热利用的有效方法。

参考文献

- 蔡九菊,赫冀成,陆钟武,等. 过去 20 年及今后 5 年中我国钢铁工业节能与能耗剖析[J]. 钢铁,2002,37(11):68~73.
- 徐匡迪. 低碳经济与钢铁工业[J]. 钢铁,2010,45(3):1~12.
- Worldsteel Association. World Steel Stat. [J]. worldsteel.org,2011
- 陈冠军,滑铁钢,刘秀珍. 首钢节能技术进步[J]. 钢铁,2011,46(2):81~85.
- 蔡九菊,王建军,陈春霞等. 钢铁企业余热资源的回收与利用[J]. 钢铁,2007,42(6):1~7.
- 王维兴,张岩. 钢铁工业节能潜力探讨[J]. 冶金环境保护,2007,6:1~7.
- 王泰昌,张媛媛,迟京东. 我国钢铁工业节能降耗现状分析(下)[J]. 中国钢铁业,2007,4:16~19.
- 周玉磊,首钢京唐钢铁厂余热回收及利用[J]. 冶金动力,2009,6:1~5.
- 王维兴,荣光. 钢铁工业节能的思路和途径[J]. 中国钢铁业,2007,3:18~20.
- 李顺. 国内外熔融高炉渣显热回收方法[J]. 工业加热,2009,3:1~4.
- 赛音巴特尔,周宇,李世青,等. 国内钢渣处理方法及综合利用的进展[J]. 冶金环境保护,2011,1:30~33.
- 康丹凤,王占中,王克. 钢铁企业余热资源的利用[J]. 冶金能源,2002,21(5):39~42.