

宝钢环保技术

(续篇)

第七分册

电厂环保技术



《宝钢环保技术(续篇)》编委会

二〇〇〇年三月

宝钢环保技术

(续篇)

第七分册

电厂环保技术

《宝钢环保技术(续篇)》编委会

二〇〇〇年三月

《宝钢环保技术(续篇)》编委会

主 任 李海平

副 主 任 杨铁生 沈晓林

编 委 (共12人,按姓氏笔划为序)

王绍文 李友琥 李成江 杨丽芬 武秀菊 郑文华

胡成丰 胡国良 赵克斌 唐昭武 顾德章 焦凤山

技术审查 李友琥 沈晓林

《宝钢环保技术(续篇)》各分册主编

第一分册 宝钢环保综合防治技术 主编 严 科

第二分册 焦化环保技术 主编 潘洪文、郭 伟

第三分册 烧结环保技术 主编 王学群

第四分册 炼铁环保技术 主编 郝润平

第五分册 炼钢环保技术 主编 吴治成

第六分册 轧钢环保技术 主编 陈永和、赵金标

第七分册 电厂环保技术 主编 姚 洁

第八分册 公用及辅助设施环保技术 主编 严 科

第九分册 宝钢单项技改工程环保技术 主编 胡成丰、朱锡恩

第十分册 宝钢环境工程图册 主编 杨丽芬

出版前言

宝钢是我国改革开放以来兴建的大型钢铁企业。一、二期工程相继于 1985 年和 1991 年建成投产。三期工程从 1997 年起陆续建成投产(2000 年上半年最后一个项目 1550 投产),形成了年生产能力 1100 万吨钢的规模。

宝钢三期工程共有 12 个生产单元,26 个建设项目,投资 623.4 亿元,其中环保设施 88 项,投资额 33 亿元,占总投资的 5.3%。三期工程的建设者们从一开始就遵循国家为其提出的“三期工程要立足于国内设计制造”的要求,实行了以我为主的“点菜式”引进,单机或小成套引进,国产化率达到 80%,其中已投产的 3 号高炉国产化率提高到 95%。宝钢三期工程在设计上以清洁生产为指导思想,采用了国际上先进的冶金技术和装备,三废治理设施在一、二期的基础上又有新的发展,引用了一些当今最新技术,其主要环保指标在国内遥遥领先,基本上达到或超过世界同类企业的先进水平。

及时认真地总结宝钢工程中体现出的新思想、新概念、新技术,这无论是对宝钢自身的发展,还是对我国冶金环保领域的科技进步,都起着不可估量的作用。

早在 1987 年,冶金部环境保护综合利用信息网配合原冶金部安环司组织承担宝钢工程设计单位的有关同志编辑出版了《宝钢环保技术》汇编。汇编按工艺分八个分册和一个图册,较全面系统地总结了宝钢一、二期工程采用的环保技术,对宣传宝钢、促进全国冶金环保工作的发展起到了很好的推动作用。

在这世纪之交值此宝钢三期工程即将全部完工之际,宝钢为更好地消化、掌握和推广三期环保新技术,首先提出编制宝钢环保新技术,并与冶金部环境保护综合利用信息网合作,组织承担宝钢三期工程设计的主要单位的有关专家和科技工作者,在认真总结宝钢三期工程环保技术、项目的基础上,系统编写并出版《宝钢环保技术》(续篇)。

《宝钢环保技术》(续篇)的内容与设计内容基本一致,以三期工程为主,同时包括一、二期的改造工程和已立项的三期后工程中所上的全部环保项目,并在各册中都增加了清洁生产章节。

该“续篇”与1987年编写的《宝钢环保技术》一起,形成一套完整的、涵盖宝钢一、二、三期以及三期后工程的、全面反映当今宝钢环保技术与装备水平的技术资料。希望能为我国冶金战线上的广大环保工作者了解宝钢、学习宝钢、提高冶金环保总体水平有所帮助。

《宝钢环保技术》(续篇)共分十个分册,各分册自成体系。除仍按工艺分为八个分册和一个图册外,增加了单项技改工程分册。重庆钢铁设计研究院负责主编第一分册、第四分册、第七分册和第八分册;鞍山焦化耐火材料设计研究院负责主编第二分册;长沙冶金设计研究院负责主编第三分册;北京钢铁设计研究总院负责主编第五分册;武汉钢铁设计研究院负责主编第六分册;宝钢(集团)公司设计院负责主编第九分册;冶金部建筑研究总院负责主编第十分册。上海冶金设计研究院、华东电力设计院也参加了部分章节的编写工作。

国家冶金局环保办公室的李友璜同志、宝钢安环处的沈晓林同志以及各主编单位的负责同志和参编人员都对本书的出版做了大量细致的工作,冶金部环境保护综合利用信息网在《宝钢环保技术》(续篇)的编写、审稿、编辑和出版过程中,做了大量的组织协调工作。

由于本书的编写、编辑及出版工作的时间较为仓促,如有不妥之处,请批评指正。

《宝钢环保技术》(续篇)编委会

一九九九年十二月

本册编辑说明

本册为《宝钢环保技术》(续篇)的第七分册“发电环保技术”。由重庆钢铁设计研究院和华东电力设计院共同编写。

本分册介绍了宝钢三期热电装置(第一章)和电厂三号机组工程(第二章)的环保技术。主要包括:工程概况、生产工艺及技术、装备特点、工程污染及排放状况、清洁生产技术、环保技术措施及其评述等,编写的重点是清洁生产技术和环保技术措施及其评述。针对这些环保技术,对其投资情况、技术特点以及最终的环保效果等进行了比较全面的评述。

本分册可供从事环境保护工作的设计、科研、管理人员参考。

参加本分册编写的单位和人员如下:

第一章由重庆钢铁设计研究院的姚洁编写。

第二章由华东电力设计院的夏兵 周林久 章鸿基 于香媛编写。

主编单位:重庆钢铁设计研究院

主 编:姚 洁

责任编辑:杨丽芬

印 刷:北京百善印刷厂

第七分册目录

第一章 热电装置	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 清洁生产技术	(5)
第三节 废气治理技术	(9)
第四节 废水治理技术	(10)
第五节 噪声控制技术	(13)
第六节 监测技术	(14)
第七节 环保技术评述	(15)
第二章 宝山电厂 3 号机组	(17)
第一节 概述	(17)
第二节 清洁生产技术	(19)
第三节 烟气治理技术	(21)
第四节 废水治理技术	(22)
第五节 灰渣处理及综合利用	(24)
第六节 噪声控制技术	(25)
第七节 监测技术	(25)
第八节 环保技术述评	(28)

第一章 热电装置

第一节 概述

一、工程概况

燃气—蒸汽联合循环热电装置(简称热电装置或CCP)是当前世界上热电转换效率、自动化程度最高的一种发电装置,其热电转换率可达45%以上。宝钢三期工程建设的热电装置于1997年11月28日建成投产,采用一台145MW的燃气—蒸汽联合循环热电装置,每年可回收高炉煤气25.4亿 m^3 ,相当于28.25万t标准煤,其年发电量为9.405亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,外供电量9.123亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,同时还可供生产用蒸汽,其年供蒸汽量为66.6万t,供热抽汽能力0~180t/h,年供热量1.966GJ。通过CCP对高炉煤气的回收利用,既可减少高炉煤气的浪费、降低能源损失、减轻对大气环境的污染,又可利用此装置较高的热电转换效率获得大量的电能,还可以利用此装置汽轮机抽汽供热的优点提供生产用蒸汽,因此该工程的建设具有显著的节能效果,较好的经济效益和环保效益。该生产系统的主要技术经济指标见表1—1—1。

表 1—1—1 热电装置主要技术经济指标

序号	项目	数值	序号	项目	数值
1	机组额定容量/MW	149.6	9	供热时机组热效率*/%	60.5
2	年设备利用小时数/h	7500	10	供热标煤耗/ $\text{kg}\cdot(\text{GJ})^{-1}$	38.69
3	年发电量*/ $\text{kW}\cdot\text{h}$	9.405×10^8	11	年高炉煤气耗量/ m^3	25.4×10^8
4	厂用电率/%	3	12	年节约标准煤量/t	28.25×10^4
5	年供电量*/ $\text{kW}\cdot\text{h}$	9.123×10^8	13	年纯水耗量/ m^3	1.50×10^6
6	发电热效率/%	45.52	14	年工业水耗量/ m^3	51.0×10^4
7	发电标煤耗/ $\text{g}\cdot(\text{kW}\cdot\text{h})^{-1}$	270	15	劳动定员/人	18
8	年供热量/GJ	1.966	16	厂区占地面积/ m^2	2.158×10^4

*年平均供热量 76t $\cdot\text{h}^{-1}$

二、生产工艺简述

燃气—蒸汽联合循环热电装置(CCP)的工艺设备主要包括煤气压缩机、空气压缩机、燃气轮机、余热锅炉、蒸汽轮机以及发电机等组成。宝钢选用的主要设备是日本川崎重工全烧高炉煤气的燃气—蒸汽联合循环发电机组(以轻油作为备用燃料,以防止高炉煤气的热值低于 $3098\text{kJ}/\text{m}^3$ 的情况下燃烧器熄火,确保燃气轮机安全运行)。此机组在满负荷工况下,燃烧高炉煤气 $362\,200\text{m}^3/\text{h}$,抽汽供热量为零时,设备发电能力为149.6MW,发电热效率为45.52%;抽汽量为180t/h时(最大抽汽量),发电能力为107.8MW,发电热效率为32.8%。此机组的形式为单轴式机组,即燃气轮机、蒸汽轮机、发电机、煤气压缩机设置在一根轴上,燃气轮机排气管道上设置一台余热锅炉回收烟气余热。生产工艺流程见图1—1—1。

CCP燃用的高炉煤气(BFG)先经过电除尘器除尘,然后进入煤气压缩机加压,其后再一路进入燃烧器燃烧(燃烧器内的压力约为1.3~1.4MPa),另一路经旁通调节阀减压后进入冷却器减温,再返回到电除尘器入口。燃烧用空气从大气吸入,经空气过滤器、消声器、风道,然后进入燃气轮机的空压机压缩,空气分三路进入主机各部分,第一部分进入燃烧室,第二部分供各高温部件冷却

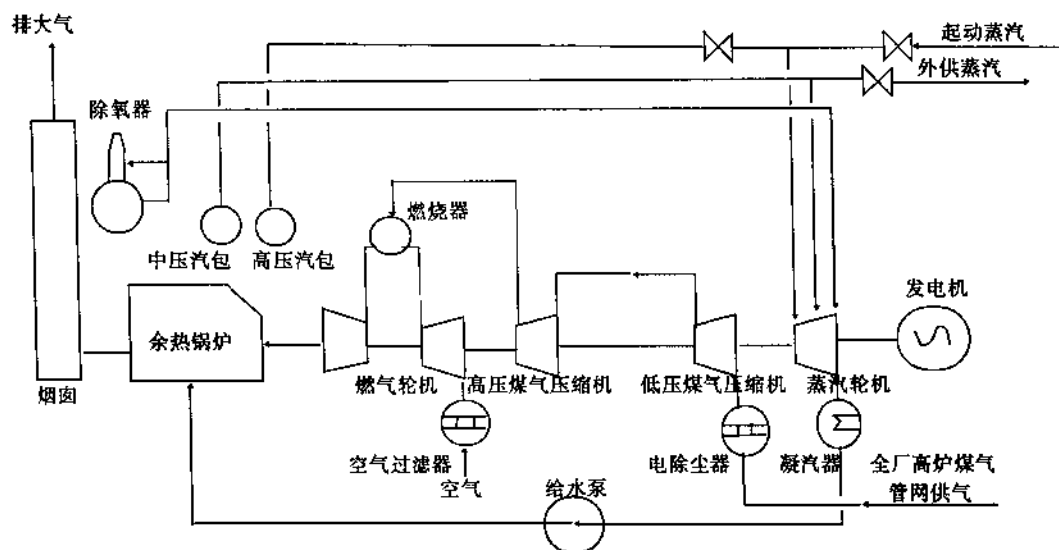


图 1-1-1 燃气轮机生产工艺流程图

使用,第三部分供燃气透平入口调节烟温使用。煤气与第一路空气进入燃烧器,在烧嘴的作用下,产生旋流,使其充分燃烧,并产生 1600℃ 的高温、高压烟气,经与第三路冷却空气混合后降至 1158℃,进入燃气轮机做功以带动空压机和煤气压缩机并输出发电功率。做完功后的烟气温度 540℃,由燃气轮机排出经消声器后进入余热锅炉换热产生蒸汽,余热锅炉吸热后产生的蒸汽(分为高压、中压、低压蒸汽三类)进入蒸汽轮机发电,汽轮机做功后的蒸汽进入凝汽器冷凝,冷凝水送往锅炉除氧器除氧,最后进入余热锅炉汽包补充锅炉蒸发用,从而形成循环。从余热锅炉排出的烟气约 127℃,直接从 60m 高的烟囱排入大气。另外凝汽器冷却水使用后直接排入长江。

燃气轮机、空气及煤气压缩机及发电机同在一轴上,压缩机所需要的功率由燃气轮机提供,剩余功率驱动发电机发电。

当燃气轮机启动或低负荷运转时,煤气压缩机出来的煤气将全部或部分旁通到煤气冷却器,冷却后回到电除尘器入口处。

CCP 热电装置为一机式单轴机组,主要设备及其技术参数如下:

1、燃气轮机

型号:ABB GT11N2 型,输出功率:144MW;

燃料种类:高炉煤气(低位发热量 3098 ~ 3516kJ/m³),高炉煤气消耗量:362 200m³/h;

燃气轮机入口烟温:1158℃,燃气轮机排烟量:1 051 800m³/h;

燃气轮机排烟温度:540℃,燃气轮机排烟 NO_x 值:61mg/m³。

2、蒸汽轮机

蒸汽轮机分为高中压段和低压段,高中压段设有 5 级叶轮,低压段设有 10 级叶轮。从锅炉高压段来的蒸汽,通过调节阀进入汽轮机膨胀做功,然后经低压调节阀进入低压缸膨胀做功,最后排入凝汽器。若抽汽量较大时高压段蒸汽从中压调节阀前排出汽轮机与锅炉中压蒸汽混合,经减温后,向外供热。

蒸汽轮机型式:川崎抽汽冷凝式汽轮机,输出功率:60.5MW,转速:3000r/min。

3、余热锅炉

型式:川崎—VOGT G/T 型自然循环余热锅炉

余热锅炉产生蒸汽条件见表 1—1—2。

余热锅炉烟气流量:1 051 800m³/h, 余热锅炉

入口烟温:540℃, 出口烟温:127℃;

余热锅炉烟囱高度:60m。

4、煤气电除尘器

在燃气轮机中, 煤气燃烧所产生的高温烟气是燃气透平机的基本工作介质, 燃料的杂质含量应尽可能减少, 以避免透平叶片发生高温腐蚀和叶片冷却通道堵塞, 按照日本三菱重工业公司的经验, 高炉煤气的含尘量应小于 1mg/Nm³, 因此为了减少煤气的含尘量, 在煤气压缩机前设置一台煤气电除尘器。

电除尘器型式:卧置湿式电除尘器, 处理煤气量:362 200m³/h;

入口煤气含尘量: <10mg/m³, 出口煤气含尘量: <1mg/m³;

除尘效率:90%

5、煤气压缩机

由煤气电除尘器来的低压高炉煤气, 经煤气压缩机压缩至约 1.5MPa 后送至燃烧器, 煤气压缩机由低压压缩机和高压压缩机组成。为了防止煤气粉尘附着在压缩机的叶片上, 在低压压缩机入口侧设置了煤气加热器, 使入口煤气温度提高约 10℃ 左右; 为了使压缩机压缩更多的煤气, 使机组获得更大的出力, 在低压压缩机和高压压缩机之间还设置了煤气中间冷却器, 以降低高压压缩机入口的煤气温度。

6、煤气冷却器

为了调节燃烧器的煤气流量, 在煤气压缩机出口的管道上设计了一旁通管, 可通过旁通管上的压力调节阀和流量调节阀进行流量调节, 剩余煤气经旁通管减压后流回至电除尘器前, 因此在旁通管上设置了煤气冷却器, 将高温煤气降至常温后再回至电除尘器。

7、发电机

发电机及其附属设备采用 ABB 公司生产的 WY21Z—092LLT 型交流同步发电机, 该发电机采用旋转励磁方式, 交流励磁机、旋转整流器、副交流励磁机与发电机共轴, 额定功率 149.700MW。

三、技术装备特点

1、可燃用低热值的煤气

燃气轮机的燃烧室使燃料在正压 (约 1.4MPa) 状态下燃烧, 可全燃高炉煤气 (是第一台实用型的全燃高炉煤气机组), 较好地解决了钢铁厂的煤气平衡, 解决了大量低热值高炉煤气的放散问题。

2、热电转换效率高

热电转换效率与燃料煤气的发热值有关, 发热值低效率将有所下降。宝钢热电装置不供汽时的热电转换效率可达 45.52%, 比同容量的蒸汽单循环发电机组高 13.4%, 比宝钢电厂 35 万 kW 大容量机组的热电转换效率还高 7.4%。

3、热电联产, 提高 BFG 热能利用总效率

表 1—1—2 余热锅炉产生蒸汽参数

蒸汽条件	高压蒸汽	中压蒸汽	低压蒸汽
蒸发量 / t · h ⁻¹	168.9	22.1	~ 22
蒸汽压力 / MPa	6.276	1.863	0.129
蒸汽温度 / °C	513	265	107

利用 CCP 中抽汽式蒸汽轮机抽汽供热, 实现热电联产, 大幅度提高了 BFG 热能利用的总效率, 抽汽供热部分避免了热机的冷源损失, 使热能利用效率提高到 82% 以上。宝钢 CCP 热电联产使 BFG 热能的 45.4% ~ 82% 被有效的利用, 其具体数值与供热数量有关, 根据蒸汽平衡推算, 宝钢 CCP 的总热效率大约为 60%。

4、煤气、电、蒸汽转换灵活, 调度方便

通过 CCP 可以使宝钢剩余 BFG 高效地转换为电能和蒸汽。在冬季蒸汽高峰负荷时, 可以使 CCP 少发电、多抽气; 当蒸汽非高峰负荷时, 又可以让 CCP 尽量少抽汽多发电, 而且抽汽量可以跟踪管网负荷自动调节, 反应比锅炉灵活。根据钢铁厂的实际情况, CCP 既可以实现以热定电的运行方式, 也可以实现以电定热的运行方式, 使宝钢的能源平衡取得理想的效果。

5、占地面积省, 无运输问题

CCP 与蒸汽循环发电机组相比, 无需建设庞大的锅炉房 (如果掺烧煤还需要运煤、贮煤、运灰、贮灰等设施), 可减少占地面积; 而且宝钢采用一轴式工艺布置可使机组的布置更加紧凑, 使主厂房占地更少。CCP 燃用的是煤气, 生产的是电、汽无需运输工具。

6、生产过程全自动化, 操作方便, 启动迅速

CCP 的工艺过程可实现全自动化, 采用蒸汽启动方式, 从 0 ~ 100% 负荷, 冷态启动需要 375min, 暖态启动 200min, 热态启动只需要 100min, 当采用可控硅变频启动时仅需 22min, 而一般电厂从冷态启动 (锅炉点火开始) 到 100% 负荷, 大约需要 8 ~ 16h。

四、工程污染及排放状况

1、污染源及污染物

热电装置生产过程中的主要污染源及污染物见表 1—1—3。

2、污染物产生及排放状况

(1) 废气 燃气轮机以高炉煤气为燃料产生的烟气, 其污染物的排放均满足国家标准的要求, 排放状况见表 1—1—4。

(2) 废水 热电装置生产过程中的废水产生状况如下:

① 蒸汽轮机的凝汽器冷却水 10500m³/h; 纯水冷却器冷却水 1100m³/h; 煤气冷却水冷却器冷却水 900m³/h; 合计 12500m³/h, 取用长江水直接冷却, 排水主要是温度升高, 水质未受污染。

② 煤气冷却器产生的冷却废水约 450m³/h, 主要是水温升高, 排水经冷却后循环使用。

表 1—1—3 热电装置的主要污染源及污染物

序号	污染源	废气	污染物	废水	噪声
1	煤气电除尘器		○		
2	煤气压缩机		○		○
3	燃气轮机	○			○
4	蒸汽轮机		○		○
5	余热锅炉	○	○		○
6	发电机				○
7	空压机				○

表 1—1—4 热电装置大气污染物产生及排放状况

污染源	污染物发生量	污染物浓度	污染控制措施	污染物排放量或浓度
燃气轮机	燃烧烟气:	烟尘: 1mg · m ⁻³	高烟囱排放	烟尘: <1mg · m ⁻³
	1051800m ³ · h ⁻¹	NOx: 61mg · m ⁻³	H = 50m	NOx: 64.16kg · h ⁻¹

③ 煤气净化系统使用的湿式电除尘器产生含尘废水, 约 31m³/h, 废水中主要的污染物为悬浮物, 浓度约 125mg/L, 排水经排水槽流入沉淀槽用排水泵排入电厂灰管。

④ 煤气管道入口水封阀排水 7m³/h, 煤气管道切断水封器排水 33m³/h, 煤气压缩机清洗排

水 $7\text{m}^3/\text{h}$, DG 柴油发电机冷却排水 $15\text{m}^3/\text{h}$ (均为间断排放), 排水均进入沉淀槽。

⑤ 锅炉排污二次扩容器排水 $32\text{m}^3/\text{h}$, 直接排入雨水井。

⑥ 空调设备冷却产生的净废水, 水量约 $50\text{m}^3/\text{h}$, 排水主要是温度升高, 水质无变化, 经冷却后循环使用。

⑦ CCP 设备轴承等间接冷却水(纯水) $890\text{m}^3/\text{h}$, 经冷却后循环使用。

上述外排废水的污染物含量均满足排放标准的要求。

(3) 噪声 燃气轮机、蒸汽轮机、煤气压缩机运行时产生噪声约 120dBA ; 发电机噪声约 90dBA ; 燃气轮机吸风口等处产生噪声。

空压机噪声约 110dBA , 高压水泵噪声约 90dBA , 保安用柴油发电机噪声约 110dBA , 循环水泵房水泵运行时产生噪声约 95dBA , 锅炉汽包安全阀、排汽阀排汽噪声约 110dBA 。

上述各类污染物的排放标准见《宝钢环保技术》(续编)第一分册。

热电循环装置污染物的产生及排放总量见表 1—1—5。

表 1—1—5

热电装置污染物产生及排放总量

污染物类别	污染物产生量	污染物排放量	备注
废气	烟尘: $7888.5\text{kg} \cdot \text{a}^{-1}$	烟尘: $7888.5\text{kg} \cdot \text{a}^{-1}$	烟囱高度: 60m
	NO_x : $457.5\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$	NO_x : $457.5\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$	
废水	废水: $40.125 \times 10^4\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$	废水: $40.125 \times 10^4\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$	排入电厂灰管
	废水: $31.5 \times 10^4\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$	废水: $31.5 \times 10^4\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$	排入雨水管网
	生活废水: $7500\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$	生活废水: $7500\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$	排入厂区污水干管

第二节 清洁生产技术

一、采用新工艺、新技术,从根本上控制污染

燃烧低热值高炉煤气的大容量 CCP 是日本近年来研究开发成功的一项技术成果。宝钢 CCP 建设的目的是为了充分高效、经济地回收利用钢铁厂的剩余高炉煤气(BFG), 尽量减少放散量, 有效地保护环境。工程本身即是一项清洁生产的新技术, 主要体现在以下方面。

1、回收低热值燃料, 减少煤气放散量

CCP 能够 100% 燃烧低热值 BFG, 回收能量的绝对数值大, 节能效益十分明显。CCP 燃烧 BFG 的热值设计为 $3265.7 \pm 165.7\text{kJ}/\text{m}^3$ ($780 \pm 40\text{kCal}/\text{m}^3$), 不掺烧轻油或焦炉煤气等任何辅助燃料。经过性能考核, CCP 已经达到了这个要求, 甚至在宝钢 BFG 热值低到 $3014.5\text{kJ}/\text{m}^3$ 左右, 也能够稳定燃烧。

CCP 的使用每年可回收 BFG 约 25.4 亿 m^3 , 可大幅度减少 BFG 的放散量。宝钢三座高炉同时生产的情况下, CCP 投产以前, 全年 BFG 放散率为 7.8% (电厂 1 号、2 号机组按混烧率 25% 计), CCP 投产以后, 全年 BFG 放散率仅为 1.1%, 较建成前有大幅度减少; 1999 年 NO. 3 机组建发电后, 全年 BFG 放散量将进一步降低, 约占宝钢总剩余 BFG 量的 0.1%, 使宝钢对剩余 BFG 的利用达到世界先进水平。

2、热电效率高、节约燃料

采用的全燃高炉煤气联合循环发电装置发电量为 150MW, 燃烧高炉煤气 36.22 万 m^3/h , 热电转换效率设计为 45.52%, 实际达到 45.66%, 开创了我国冶金行业首次利用 CCP 技术燃烧高炉煤气发电、供热的新技术。

CCP 机组的热效率远高于蒸汽循环机组, 与宝钢 CCP 同容量的蒸汽单循环发电机组的热电转换效率仅为 32%, 宝钢自备电厂亚临界参数的 350MW 机组效率是全国目前第一水平, 其效率也只有 38% 左右。以 12 万 kW 的发电机组的供电效率为例, 常规蒸汽循环机组为 33~36.6%; 联合循环机组为 39.58~46%。同时 CCP 机组的发电效率高, 厂自用电少, 供电效率(或净热效率)高, 因此供同样电量可以节约大量燃料。以 35 万 kW 的常规蒸汽循环机组与 13.8 万 kW 的联合循环机组相比, 按全年供电 9.4189 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 计, 联合循环机组每年可节约燃料 50000t 标准煤, 详见表 1—2—1。

表 1—2—1

联合循环机组与蒸汽循环机组燃料用量比较

型式	功率 /MW	发电站效率 %	厂用电率 %	净热效率 %	发电标准煤耗 $/\text{g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$	供电标准煤耗 $/\text{g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$	供电量相同时 燃料用量, %
联合循环机组	138	45.74	2.5	44.6	268.6	275.464	83.86
蒸汽循环机组	350	38.8	3.6	37.4	316.642	328.45	100

CCP 实现了热电联产, 回收 BFG 的热能总利用率高。CCP 利用蒸汽轮机中间抽汽供热, 实现热电联产, 能够为宝钢提供最大为 180t/h 的低压蒸汽。同时因抽汽供热部分避免了蒸汽轮机的冷源损失, 使 BFG 热能的总利用率得到了提高, 在 CCP 送汽参数为压力 1.67MPa, 温度 260℃ 的条件下, 宝钢 CCP 的效率见图 1—2—1, 最大热能利用率达到 77.6%。

3、燃烧设备采用低氮氧化物燃烧技术

CCP 在生产设备引进时就对燃烧废气中 NO_x 的排放提出了严格的要求, 燃烧设备采用了低

氮氧化物的燃烧技术, 有效地控制了 NO_x 的产生, 其燃烧废气中 NO_x 的排放浓度仅为 $61\text{mg}/\text{m}^3$, 从根本上减少了污染物的排放量, 有利于环境保护。

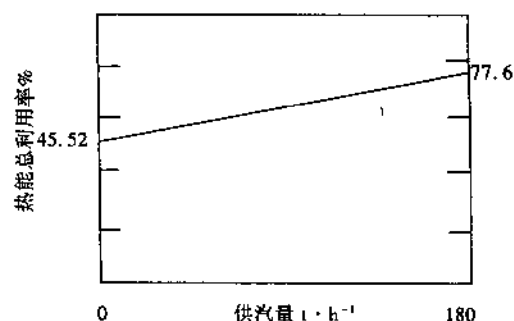


图 1—2—1 宝钢 CCP 的 BFG 热能总利用率

二、采用清洁燃料, 从源头控制污染

燃气轮机的燃料主要是剩余的高炉煤气, 仅在启动和低负荷时需要一定的高热值燃料(轻油)作为稳燃燃料。高炉煤气的主要成分及含尘浓度见表 1—2—2。

由此可见, 宝钢高炉煤气是一种清洁的燃料, 其燃烧废气的成分为: H_2O : 2.49; CO : 13.92; O_2 : 10.53; N_2 : 72.39; Ar : 0.66(按体积%计), 排放废气中的 NO_x 浓度为 $61\text{mg}/\text{m}^3$ 。同时由于燃用高炉煤气, 不需外部燃料供应和灰渣处理, 有利于环境保护。

表 1—2—2

宝钢高炉煤气成分

煤气成分	CO ₂	CO	H ₂	N ₂	水份	尘/mg·m ⁻³
含量(体积%)	17~21	21~25	2~4	53~57	饱和	<10(除尘前) <1(除尘后)

三、节约能源,减少污染

1、利用 CCP 回收利用高炉煤气,实现热电联产

宝钢燃气—蒸汽联合循环热电装置的建设是为了回收利用剩余的高炉煤气,节约能源,变废为利,改善环境,其本身即是一项节能项目。

高炉煤气是一种低热值的燃料,放散是一种浪费,使用有一定困难。由于三期工程阶段有三座高炉同时生产,剩余的高炉煤气在原二期的基础上有较大的增加,剩余煤气量占煤气发生量的30%,约为 $4844 \times 10^6 \text{m}^3/\text{a}$,相当于标准煤 $54 \times 10^4 \text{t}/\text{a}$ 。宝钢 CCP 在满负荷条件下,年回收 BFG 约为 $2535.4 \times 10^6 \text{m}^3$,相当于 $28.25 \times 10^4 \text{t}$ 标准煤,可使剩余煤气量大为减少。宝钢剩余高炉煤气的主要用户及规模见表 1—2—3。

表 1—2—3

宝钢自备电厂规模

机组(项目)	功率/MW	燃烧率%	功能	备注
NO. 1 机	350	10(13 实际最大值)	发电	运行中
NO. 2 机	350	10(13 实际最大值)	发电	运行中
NO. 2 机	350	40(设计最大值)	发电	建设中
CCP	149	100	发电、供热	运行中

宝钢 CCP 装置可 100% 的以高炉煤气为燃料,仅在启动和低负荷时需要一定的轻油作为稳燃燃料,因此其对高炉煤气的利用率比蒸汽循环机组高,一般蒸汽循环机组(大、中型机组)高炉煤气用量 90%,焦炉煤气用量为 10%。

CCP 机组总装机容量 149.9MW,其中燃气轮机容量 89.1MW(扣除空压机等设备的消耗功率),蒸汽轮机 60.5MW,在年平均抽汽 76t/h,年供蒸汽 66.6×10^4 的情况下,机组发电 $9.405 \times 10^8 \text{kW} \cdot \text{h}$,扣除厂自用后(厂自用电率 3%)可供电 $9.123 \times 10^8 \text{kW} \cdot \text{h}$ 。建设 CCP 对宝钢而言,实现了热电联产,是一项具有较大意义的节能措施。

2、CCP 生产工艺具有较高的节能效益

与宝钢其它节能设施比较,CCP 的节能效果尤为突出。宝钢已建成的节能设施很多,其中以干熄焦及发电装置(CDQ)、转炉余热锅炉(OG)、高炉煤气余压发电(TRT)等比较突出,尤其以 CDQ 节能效益最为显著。表 1—2—4 是 CCP 的节能效益与上述节能设施的比较情况,由此可见,CCP 的节能效益远超过一套 CDQ 的节能效益,成为宝钢能源回收的大户。

表 1—2—4

宝钢主要节能设施的效果比较

序号	名称	数量	回收能源种类	年回收量	省标煤/ $10^4 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$
1	干熄焦装置(CDQ)	1 套	蒸汽	$96.36 \times 10^4 \text{t}$	11.3
2	高炉煤气余压发电(TRT)	1 台	电	$1.2 \times 10^8 \text{kW} \cdot \text{h}$	3.88
3	转炉余热锅炉(OG)	1 套	蒸汽	$15.3 \times 10^4 \text{t}$	1.8
4	联合循环热电装置(CCP)	1 套	蒸汽+电	$10.47 \times 10^8 \text{kW} \cdot \text{h}$ (设全部发电)	28.25

联合循环机组和蒸汽循环机组用水量最多的设备是蒸汽轮机的凝汽器,凝汽器冷却水量大

致与蒸汽轮机单循环功率成正比。在联合循环机组中蒸汽轮机的功率约为总功率的 45%，因此联合循环机组的用水量约为蒸汽循环机组用水量的 45%，大大地节约了能源。发电机组的冷却水量见表 1—2—5。

表 1—2—5 发电机组的冷却水用量 单位: $\text{m}^3 \cdot (\text{MWh})^{-1}$

项目	40	60	80	100	120	140
联合循环机组	62 ~ 66	58 ~ 62	56 ~ 60	55 ~ 60	55 ~ 60	55 ~ 60
蒸汽循环机组	150 ~ 164	138 ~ 149	132 ~ 142	128 ~ 137	126 ~ 135	126 ~ 135

CCP 的能耗范围包括: CCP 装置本体及配套的各公辅设施的能耗, 燃料是高炉煤气, 动力消耗是各种水、低压蒸汽和氮气, 能耗情况见表 1—2—6。

表 1—2—6 燃气轮机的能源消耗表

序号	名称	年实耗量		折算系数		折算标煤 / $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$
		单位	数量	单位	数量	
1	高炉煤气	GJ	8867200.0	$\text{t} \cdot (\text{GJ})^{-1}$	0.034	302904
		104m^3	272000.0	$\text{t} \cdot 10^{-4}\text{m}^{-3}$	1.114	
2	补充纯水	104m^3	150.0	$\text{t} \cdot 10^{-4}\text{m}^{-3}$	3.500	525
3	补充工业水	104m^3	51.0	$\text{t} \cdot 10^{-4}\text{m}^{-3}$	2.170	110.67
4	低压蒸汽	t	1080.0	$\text{t} \cdot \text{t}^{-1}$	0.106	114
5	冷凝器等冷却水	104m^3	9375.0	$\text{t} \cdot 10^{-4}\text{m}^{-3}$	1.100	10312.5
6	生活水	m^3	938	$\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$	1.600	1.5
7	氮气	104m^3	80.0	$\text{t} \cdot 10^{-4}\text{m}^{-3}$	0.430	34
合计						315461

CCP 装置的技术经济指标见表 1—2—7, 在全冷凝时的机组热效率和发电标煤耗与国内一些电厂相比较的情况见表 1—2—8。由此可见, 宝钢 CCP 装置的热效率是最高的, 发电标煤耗是最低的, 在国内属先进水平, 而当 CCP 装置在平均年供汽量 $66.6 \times 10^4 \text{t}$ 的情况下, 其热效率可高达 60.5%, 发电标煤耗为 $0.235 \text{kg}/\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

表 1—2—7 CCP 装置的技术经济指标

全冷凝时			发电、供热时				余热锅炉			
机组	发电量	发电标煤耗	机组	发电量	发电标煤耗	年平均	供热	产汽量	效率	厂自
热效率 (供电量)	(供电量)	(供电标煤耗)	效率	(供电量)	(供电标煤耗)	供热量	标煤耗			用电
%	/ 10^3kWh	/ $\text{kg} \cdot (\text{kWh})^{-1}$	%	/ 10^3kWh	/ $\text{kg} \cdot (\text{kWh})^{-1}$	/ 10^4t	/ $\text{kg} \cdot (\text{GJ})^{-1}$	/ $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$	%	%
45.52	1.122	0.270	60.5	0.9405	0.235	66.6	38.69	209.6	76.2	3
	(1.0883)	(0.278)		(0.9123)	(0.255)					

表 1—2—8 热效率与发电标煤耗比较

指标	宝钢 CCP 装置 (全冷凝) 149.6MW 高炉煤气	国内同容量 蒸汽单循环电厂	宝钢自备电厂 2 × 350MW 煤、煤气	华能重庆燃机电厂 100MW 天然气
热效率%	45.52	32	38	45
发电标煤耗/ $\text{kg} \cdot (\text{kWh})^{-1}$	0.270	0.35 ~ 0.4	0.319(92 年)	0.273

第三节 废气治理技术

一、废气处理工艺

热电装置的废气处理技术主要包括燃料煤气的净化处理和生产工艺采用低氮氧化物燃烧技术两部分,现分述如下。

1、煤气净化除尘

为了减少高炉煤气中的含尘量,在煤气压缩机前设置了高炉煤气电除尘器,电除尘器采用卧置湿式,在电除尘器集尘板上捕集到的粉尘,通过用水喷洒冲洗排出电除尘器外,采用此除尘方式可将附着性强的粉尘除去,同时还可防止粉尘的二次污染。经除尘后的高炉煤气燃烧产生的烟气中含尘浓度小于 $1\text{mg}/\text{m}^3$,对周围环境不会产生不良影响。

煤气电除尘器采用连续供工业水方式,其性能参数如下:

处理煤气量: $362200\text{m}^3/\text{h}$,压力: $5198 \sim 8336\text{Pa}$,温度: $\sim 25^\circ\text{C}$;

入口煤气含尘量: $<10\text{mg}/\text{m}^3$,出口煤气含尘量: $<1\text{mg}/\text{m}^3$,除尘效率:90%;

供水量: $30 \sim 60\text{m}^3/\text{h}$,供水压力: $\sim 0.1\text{MPa}$ 。

2、低氮氧化物燃烧技术

CCP装置的余热锅炉在烟气温度为 $300^\circ\text{C} \sim 400^\circ\text{C}$ 段布置有除 NO_x 设备,在此温度下除 NO_x 的效果最好。采取该措施后可使燃烧废气中 NO_x 的排放浓度降至 $61\text{mg}/\text{m}^3$,比一般燃烧设备的 NO_x 排放浓度降低约 40%。目前,宝钢采用的低氮氧化物燃烧技术,未采用除 NO_x 设备。

二、高炉煤气湿式电除尘器

高炉煤气湿式电除尘器的结构特点有:

集尘电极板为 CN 型,放电极丝为 DD 型,均为不锈钢制作;

除尘器的入口装有两道多孔均流板,使煤气均流;

除尘器的出口装有除雾器用以防止煤气夹带水雾;

除尘器的直流高压电源装置能够随时响应煤气变化的状况来实现自动调整,达到最佳除尘效果。

高炉煤气湿式电除尘器的设计参数见表 1—3—1,结构参数见表 1—3—2。

表 1—3—1

高炉煤气湿式电除尘器的设计参数

项 目	规格	项 目	规格
处理气体量/ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}(\text{dry})$	362200(最大 372600)	EP 压力损失/Pa	约 200
处理气体静压/kPa	5.2~8.4	EP 设计耐压/kPa	15
处理气体温度/ $^\circ\text{C}$	25(水份饱和)		

表 1—3—2

高炉煤气湿式电除尘器的结构参数

项 目	规格性能	数量	项 目	规格性能	数量
除尘装置			外 壳	铁架钢板(普通钢,主要钢板厚 8mm)	
型式	三菱湿式卧置电除尘装置	1 台		耐压:15 kPa(短期)	
仓数		1 个	漏 斗	锥型(普通钢,主要钢板厚 8mm)	1 个
气体通道数		40 个	喇叭口	铁架钢板(普通钢,主要钢板厚 8mm)	
有效电场高度	7600 mm		多孔板	材质 SUS304、安装场所:入口喇叭形导管内	
有效电场长度	4126mm		除雾器	450×1930mm、材质 SUS316L	57 个
电极间距	300mm			安装地点:出口喇叭形管道内	
集尘极	CN 型、材质 SUS304	195 块	喷 嘴	流量 $0.7(0.3\text{MPa})\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 、材质 CS13	48 个
放电极	DD 型、材质 SUS304	2400 根	液面计	可视长度 1200mm、材质 SUS304	
				安装地点:U 形水封管部	

第四节 废水治理技术

一、水处理系统设计

1、设备用水情况

CCP 各生产设备的用水情况见表 1—4—1。

表 1—4—1 生产设备用水状况

用户名称	用水种类	/水量 /m ³ ·h ⁻¹	水压 /MPa	工作 情况	夏季最高温度/℃		备注
					给水	排出	
凝汽器、纯水冷却器、煤气冷却器	长江水	12500	0.21	连续	33	43	纯水
油冷却器、真空泵、取样装置等	循环水	890	0.3	连续			
余热锅炉	纯水	190	0.1	连续	33		
煤气冷却器	循环水	450	0.5	连续	40	60	工业水
煤气电除尘器	工业水	31	0.5	连续	33		工业水
空调	循环水	50	0.2~0.3	连续	33	38	
锅炉排污二次扩容器	工业水	12	0.2~0.3	连续	33		
热值仪、煤气分析仪	生活水	5	0.2~0.3	连续	33		间断
生活用水	生活水	3	0.2~0.3	间断			
DG 柴油发电机	工业水	15	0.2~0.3	间断	33		
煤气管道水封阀、水封器、压缩机清洗	工业水	47	0.2~0.3	间断			

2、水处理系统组成

本工程生产用水处理分为以下系统。

(1) 直流冷却水系统

该系统主要包括蒸汽轮机的凝汽器冷却水 10500m³/h, 纯水冷却器冷却水 1100m³/h, 煤气冷却水冷却器冷却水 900m³/h, 总水量 12500m³/h。

(2) 煤气冷却器清水循环系统 该系统主要处理煤气冷却器冷却用水 450m³/h, 排水主要是温度升高, 并受到煤气的轻微污染。

(3) 电除尘器冲洗水直流系统 该系统主要处理煤气湿式电除尘器冲洗水。

(4) 煤气管道水封水直流系统 主要是煤气管道入口水封阀、水封器以及煤气压缩机清洗排水。

(5) 工业水直流系统 主要是 DG 柴油发电机冷却水和锅炉排污二次扩容器排水。

(6) 空调循环水系统 该系统主要处理空调冷却水 50m³/h, 排水主要是温度升高, 水质未受污染。

(7) 纯水循环系统 该系统主要处理发电机空气冷却器、润滑油系统冷却器、锅炉取样水冷却器及锅炉给水泵轴承冷却水。

水处理系统的主要技术指标长江泵水用量: 12500m³/h, 工业水用量: 68m³/h(连续用水量), 纯水: 200m³/h。

热电装置水量平衡及给排水流程分别见图 1—4—1 和图 1—4—2。

二、废水治理工艺

(1)、凝汽器、煤气冷却水冷却器、纯水冷却器等冷却水, 设计为长江直流冷却水系统, 水由自备电厂循环泵站的钢泵供给, 冷却排水利用余压排入自备电厂凝汽器排水渠内, 直接排入长江, 其外排废水温度升高 10℃, 水质未受污染。