

文章编号: 1006— 4729(2001)02— 0001— 04

低热值高炉煤气在发电设备中的应用

任建兴¹, 章德龙¹, 周伟国², 李世魏², 王 鼎³, 张兴良³

(1. 上海电力学院, 上海 200090; 2. 同济大学, 上海 200092; 3. 宝钢股份有限公司, 上海 200941)

摘 要: 高炉煤气是钢铁产业的副产品, 其特点是煤气产生量大、可燃物含量少、发热量低, 以及燃烧性能差等. 在对钢铁企业能源消耗结构和高炉煤气特性火焰传播速度与过量空气系数关系分析研究的基础上, 介绍了有效合理利用低热值高炉煤气用于燃气-蒸汽联合循环发电和燃煤-燃气混烧锅炉发电所出现的问题及实际运行状况, 得出了机组稳定运行时高炉煤气性质波动的控制范围.

关键词: 高炉煤气; 能源结构; 发电设备
中图分类号: TK01⁺9 文献标识码: A

引 言

能源是一个国家国民经济发展的基础, 作为一个企业也是如此. 宝钢是我国建国以来的特大型建设项目, 是一个大型钢铁联合企业, 具有 80 年代世界先进生产工艺和技术装备水平. 众所周知, 钢铁企业是耗能型企业, 其能源消耗量占全国能源消耗量的 10%, 占工业部门能源消耗量的 15%~20%, 能源消耗费用占企业生产成本约 25%. 因此, 降低能源消耗和进一步有效地利用能源是降低企业生产成本、提高企业经济效益的重要途径之一.^[1] 对于钢铁企业而言, 在大量消耗能源的同时, 也必然产生大量的能源副产品如高炉煤气、焦炉煤气和转炉煤气等.^[2]

这些能源副产品(尤其是高炉煤气)的特点是量大, 热值相对较低. 如何有效地利用这些能源副产品是降低企业生产成本的关键.

1 高炉煤气的基本特性

宝钢能源副产品中涉及高炉煤气、焦炉煤气和转炉煤气 3 个系统.^[3] 这 3 种煤气的燃烧性能和热值等均各不相同, 差别较大. 3 种煤气的热值分别为: 高炉煤气 3 226 kJ/Nm³; 转炉煤气 8 240 kJ/Nm³; 焦炉煤气 18 465 kJ/Nm³. 各种煤气的成分如表 1 所示.

由表 1 可知, 作为钢铁厂炼铁炼钢过程中产生的副产品, 3 种煤气尤其是高炉煤气的组成差别很大.

表 1 煤气成分(容积) %

成 分	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	CO	CO ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₆
高炉煤气	4.17	0.03	51.60	0	22.00	22.20	0	0	0
转炉煤气	5.10	0.10	19.60	1.60	57.60	15.80	0.10	0.10	0.10
焦炉煤气	58.80	0.15	3.25	25.40	6.55	2.45	2.40	0.80	0.20

高炉煤气主要可燃成分的变化范围为 CO (20.0%~30.0%) 和少量的 H₂ (1.0%~8.0%), 大部分为不可燃的惰性气体 CO₂ (13.0%~25.0%) 和 N₂ (50.0%~55.0%). 因此, 其特点是可燃物含量少(只占 21.0%~38.0%)、燃烧性能差、发热量低. 低热值一般为 2 510~3 520 kJ/Nm³. 相对于转炉煤气和焦炉煤气而言, 高炉

煤气的利用非常困难.

高炉煤气可燃成分的高低与高炉熔炼时所采用的燃料种类以及生铁的品种有关. 一方面, 随着炼铁技术的不断提高, 炼铁所产生的副产品高炉煤气可燃物含量就会越少, 发热量也会越低; 另一方面, 通常在高炉中每熔炼出一吨生铁可以产生 3 900 Nm³ 干高炉煤气. 如果不对这种

数量巨大的能源副产品采取有效的措施合理地加以利用, 就会造成能源的巨大浪费. 据统计, 1995年没有充分地利用向空中放散的煤气量达20亿 m^3 , 相当于浪费约22万t标准煤.

利用高炉煤气的难点在于惰性气体含量高、发热量低、燃烧温度低、着火困难和燃烧工况稳定性差, 表现为燃烧火焰不稳定容易产生脱火现象. 高炉煤气燃烧时火焰传播速度是决定燃烧工况是否稳定的一个重要参数.^[4] 对于不同组分含量的高炉煤气, 火焰传播速度是不同的. 火焰传播速度除与燃料特性因素有关外, 还与燃料燃烧时过量空气系数和实际燃烧温度有关. 根据实验结果, 它们之间的相互关系如图1所示.

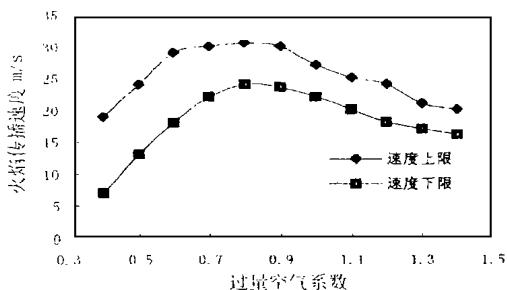


图1 高炉煤气火焰传播速度与过量空气系数的关系

在一般情况下, 高炉煤气的理论燃烧温度为 1480°C , 实际燃烧温度为 1250°C 左右. 图1给出了在实际燃烧温度下(温度定为 1250°C)高炉煤气火焰传播速度随过量空气系数变化的规律. 在不同的过量空气系数下, 火焰传播速度由小变大, 而后又由大变小, 在这中间存在一个最大值区域, 即过量空气系数为 $0.65 \sim 0.90$ 时, 火焰传播速度达到最大值. 由此可见, 火焰传播速度与过量空气系数密切相关. 调整燃烧空气供给量改变过量空气系数, 使火焰传播速度处于速度上下限之间, 就可以达到稳定燃烧工况的目的.

高炉煤气发热量低、燃烧稳定性差, 为了改善燃烧特性必须采取一定的措施. 增加高炉煤气的 H_2 含量, 不仅可以提高其发热量, 而且还能增强其燃烧的稳定性. 这是因为 H_2 的发热量高, 火焰传播速度大, 增加 H_2 含量就可以扩大火焰传播速度的上下限范围.

2 宝钢现行能源结构

随着改革开放不断向纵深发展, 中国经济进

入了快速持续增长阶段, 经济的增长、钢材需求量的扩大导致了对能源更大程度的需求. 历史经验证明, 能源的供给、能源的结构、能源的运输、特别是能源价格对于一个国家经济的持续增长、企业的生存和发展而言至关重要.

宝钢作为国内钢铁行业的先进企业, 采用了先进的科学技术和管埋, 并对原有设备进行改造或替换, 改善生产工艺, 提高能源利用率, 使能源得以充分利用, 吨钢综合能耗呈逐年下降的趋势. 1999年的吨钢能耗已降到了730kg标煤, 这一指标远远低于全国平均水平.

图2给出了国内钢铁企业平均能源消耗结构和宝钢能源消耗结构的比例. 由图2中可知, 国内钢铁企业和宝钢的能源消耗结构都是以煤炭为主, 其中宝钢的能源消耗比例中, 煤炭占总能源95%. 这是由于我国的煤炭资源和现行的能源政策而决定的. 然而国外, 例如美国钢铁企业的能源消耗结构中, 煤和焦炭约占60%, 天然气30%. 宝钢的能源消耗结构中绝大多数是煤炭, 随着钢铁产量的不断增加, 炼钢副产品煤气的发生量将呈急剧增加的趋势, 如果按宝钢年钢产量1100万t计算, 副产品仅高炉煤气的产量为430亿 m^3 . 如此巨量的低热值煤气如不加以有效利用, 将造成能源的巨大浪费. 因此, 高效合理地利用高炉煤气是钢铁企业降低能源消耗, 提高企业经济效益的关键之一.

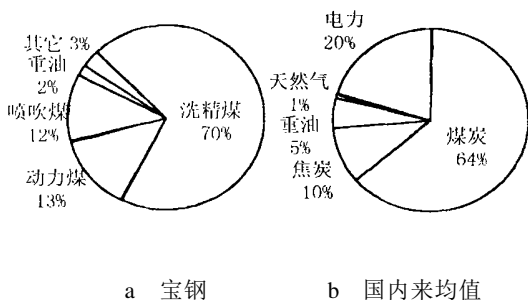


图2 钢铁行业能源消耗结构比例

3 高炉煤气的有效利用

根据对高炉煤气的特性分析可知, 有效利用低品位的高炉煤气不仅对降低吨钢能耗有重要意义, 而且对于改善周围大气环境、减少高炉煤气排放对大气的污染都起到积极的作用, 同时也具有很好的经济效益. 为了充分有效地利用数量巨大的高炉煤气, 提高能源利用率, 宝钢

采用高炉煤气燃气—蒸汽联合循环发电和燃煤锅炉燃煤—燃气混烧发电的方法. 其中燃气—蒸汽联合循环发电机组是由日本川崎重工和瑞士 ABB 公司共同开发的世界上第一台单烧低

热值高炉煤气的发电机组, 设计燃料发热量为 $3\,265\text{kJ}/\text{Nm}^3$, 机组效率为 46% , 具体设计参数见表 2.

表 2 燃气轮机参数

型号	燃料种类	燃料发热量 kJ/Nm^3	燃料消耗量 $\text{万 m}^3/\text{h}$	空气流量 $\text{万 m}^3/\text{h}$	入口空气温度 $^{\circ}\text{C}$	出口排气温度 $^{\circ}\text{C}$	机组效率 $\%$	输出功率 MW
ABB11N2LBTU	高炉煤气	3 265	36. 22	72. 80	372	540	46	144

对于燃用低热值高炉煤气的燃气轮机所存在的问题有以下几个:

- 1 为了达到所要求的透平进口温度, 高炉煤气的容积流量要比其他燃料如重油、天然气显著增加;
- 2 高炉煤气流量大, 一般燃气轮机机组透平流通能力远不能满足要求;
- 3 高炉煤气含尘量大, 在煤气压缩机前应设置高效除尘器, 保证煤气中含尘量从 $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 下降至 $1\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下;
- 4 煤气中含有 20% 以上的有毒气体一氧化碳, 燃料系统及其有关部件的密封性能存在差距;
- 5 高炉煤气中可燃物质含量少, 发热量低, 着火燃烧及其稳定性较差;
- 6 燃烧反应区温度、流速、一次空气配气机构和回流区强度相互配合还不够协调, 因而不能有效提高燃烧稳定性.

针对上述这些问题, 在燃气轮机机构、煤气的前处理以及设计运行参数等方面都必须进行重新考虑和设计, 以提高系统的密封性能和除尘效率. 对于煤气在燃烧室内的燃烧稳定性问题, 可根据高炉煤气的燃烧特性和对燃气轮机燃烧室的影响, 在燃烧室采用单管燃烧器形式加以解决. 实际运行结果表明, 当高炉煤气性质满足设计值时, 发电机组燃烧稳定, 运行平稳, 达到原设计参数的要求, 但是随着炼铁技术的不断提高, 使高炉煤气的性质发生了波动, 煤气发热量下降, 由此导致燃气轮机燃烧不稳, 机组出现跳闸, 影响了机组安全运行和稳定发电.

影响机组跳闸的原因, 除运行参数、一次空气供给量等因素外, 高炉煤气性质的波动及发热量的降低是造成机组跳闸的主要原因. 由实验和理论分析可知, 高炉煤气中可燃组分 H_2 和 CO 含

量的高低直接影响到机组的稳定性. H_2 燃烧速度越快, 含量越高, 则着火范围越宽, 增加 H_2 的含量和控制高炉煤气的发热量, 就可以改善高炉煤气的燃烧特性, 增强机组的稳定性. 根据理论分析, 由高炉煤气燃烧稳定性实验和燃气轮机燃用高炉煤气的实际运行经验可知, 如果控制高炉煤气发热量的变化范围, 调整 H_2 和 CO 的百分比就能达到稳定燃烧的目的. 如图 3 所示, 当根据高炉煤气中 H_2 和 CO 含量确定的煤气组分状态点处于图 3 中直线上方时, 机组就能够稳定运行. 因此, 图 3 给出了机组稳定运行时高炉煤气组分变化的控制范围.

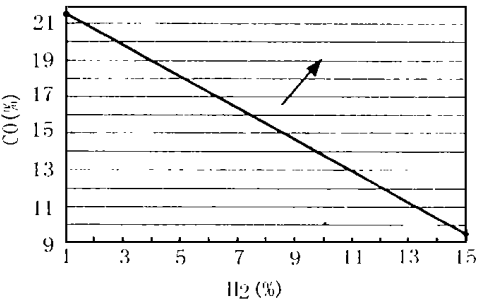


图 3 高炉煤气组分控制范围

随着宝钢年钢产量的不断增加, 由高炉产生的高炉煤气量急剧上升, 仅仅作作为燃气轮机的燃料远不能平衡高炉煤气的产生量, 还必须依靠燃煤—燃气混烧发电机组加以平衡. 目前宝钢配备两台 350MW 燃煤—燃气混烧发电机组, 锅炉设计参数如表 3 所示.

锅炉原设计燃料是由煤、高炉煤气、焦炉煤气、转炉煤气和油组成. 作为高炉煤气调整用户的自备电厂, 其锅炉燃用高炉煤气的混烧率达到 13% . 通过煤和高炉煤气的混烧可以进一步调整和平衡高炉煤气的使用量, 使钢铁厂的副产品高炉煤气得以充分有效地利用.

根据锅炉热平衡实验分析, 在锅炉实际混烧

运行时, 排烟热损失所占的比例比较高, 达 5.4% 以上, 化学不完全燃烧热损失也比较高. 因此, 锅炉热效率为 88.9%, 相对而言热效率比较低, 其原因在于混烧时过量空气系数相对较高, 达 1.7

左右, 使之产生过大的排烟热损失. 提高热效率的方法在于设法降低过量空气系数, 不断地调整煤和其他燃料的混烧比例, 以达到最佳燃烧状态.

表 3 350MW 锅炉设计参数

额定蒸发量 t/h	过热蒸气温度	给水温度	排烟温度	过热蒸汽压力	炉膛容积热强度	燃料种类	锅炉效率
		℃		MPa	kJ/m ³		%
1 083	540	270	114~167	16.8	392 000	煤、高炉煤气、焦炉 煤气、转炉煤气、油	84~88

4 结束语

钢铁企业是能源消耗非常集中的企业, 国内能源的消耗主要表现为煤炭的消耗. 随着钢铁产量的提高, 煤炭消耗量的不断增加势必会产生大量的炼钢副产品煤气. 合理有效利用这些能源是钢铁企业降低能源消耗、提高经济效益的关键所在, 为此, 宝钢采取增设单烧低热值高炉煤气的燃气—蒸汽联合循环发电机组和 350MW 燃煤—燃气混烧型发电机组的方法, 用以平衡副产品煤气的

消耗量, 已经取得很好的实际运行经验和经济效益.

参考文献:

[1] 邢 跃. 宝钢余源资源回收及前景[C]. 宝钢-中钢第五次科技交流文集, 1999.
[2] 王 鼎等. BFG 热值稳定与 CCGP 调控研究[J]. 能源技术, 1999 (11);
[3] 张兴良. 宝钢三期高炉煤气平衡及热 电装置介绍[J]. 上海节能, 1996 (10);
[4] Ren J X. Study of Combustion Stability of Blast Furnace Gas for Turbine [J]. Proceedings of the 1999 International Joint Power Generation Conference. 23.

Application of Low Heating Value Blast-furnace Gas in Power Unit

REN Jian-xing¹, ZHANG De-long¹, ZHOU Wei-guo²,
LI Shi-wei², WANG Ding³, ZHANG Xing-liang³

(1. Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China;
2. Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. Bao Steel Co. Ltd, Shanghai 200941, China)

Abstract: Blast-furnace gas is the by-product of iron-steel enterprise. Its characteristics are large quantities of gas producing, low ratio of combustibles, poor combustion performance and so on. According to the research on the energy structure of iron-steel enterprise and the relationship between blast-furnace gas's flame broadcasting velocity and excess air coefficient, the questions and the practical running performance when utilizing low heating value blast-furnace gas in the steam-gas combined circle and coal-gas boiler unit are suggested. The blast-furnace gas character fluctuating control range when stable running can be got.

Key words: blast-furnace gas; energy structure; power unit