

# 利用废煤气发电的工程设计研究

高永芬

山东电力工程咨询院 山东 济南 250013

**摘要：**对于炼钢厂在生产过程中产生的废煤气，传统处置方式的缺点是废煤气所含的能量不能获得充分利用，而且对环境产生有害的影响。本文结合济南钢铁集团工程实际，介绍以燃气轮机联合循环利用废煤气，提高电功率输出和增加蒸汽产量，同时还可减少 NO<sub>x</sub> 的排放量。并重点分析利用燃气轮机燃用低热值废煤气发电的工程设计以及设计中需要注意的问题。

**关键词：**高炉煤气；焦炉煤气；燃气-蒸汽联合循环。

**中图分类号：**TM621 **文献标志码：**B **文章编号：**1671-9913 (2006) S0-0040-04

大型炼钢厂在生产过程中产生大量的废煤气，包括高炉煤气、焦炉煤气及转炉煤气等。传统的做法是将这些废煤气排放到大气闪烧或者将其送入锅炉进行燃烧产生蒸汽，用于工艺流程或驱动汽轮机发电机组。这种处置方式的缺点是，废煤气所含的能量不能获得充分利用，而且对环境产生有害的影响。随着燃气轮机技术的发展，以燃气轮机联合循环去利用废煤气，可以显著地提高电功率输出和增加蒸汽产量，同时还可减少 NO<sub>x</sub> 的排放量。

2002 年，我院开始设计的济南钢铁集团燃气——蒸汽联合循环发电工程，就是将钢厂产生的废煤气利用起来，使其成为发电燃料的具体实施。

## 1 工程概况

济南钢铁股份有限公司（以下简称“济钢”）位于山东省济南市东郊，始建于 1958 年，经过了 40 多年的发展，现已成为国家级大型钢铁联合企业。“九五”以来，济钢集团面对钢铁市场从卖方市场向买方市场的根本性转变和用户对钢材的质量、品种越来越高的要求，针对公司所暴露出来的产品种类少、质量差、装备水平落后等弱点，济钢集团适时转变经营思路，积极调整发展战略，坚持以提高经济效益为中心，以市场为导向，走科技进步和技术改造的道路，充分利用现代科技成果，提高企业整体管理水平，通过系统优化、节能降耗、资源综合利用等方式，努力挖掘内部潜力，使企业扭亏增盈、得到了持续健康的发展。燃气——蒸汽联合循环发电工程是济钢集团“十五”发展规划的重点建设项目之一，是济钢集团继续实施低成本战略的重要举措。通过此项目的实施，对济钢集团节约和合理利用能源、降低全公司生产成本、增强企业产品的市场竞争力、减少煤气排放对周围环境的污染、以及促进国家高新技术产业化发展都有十分重要的意义，该项目使济钢集团获得国家科技进步二等奖。

此项目于 2002 年 3 月开始进行可行性研究设计，2004 年 7 月投入运行，工程规模为建设 2 套 PG6561B-L 型燃气轮发电机组和余热锅炉、蒸汽轮发电机组，给济钢公司节约了能源，经济效益显著。

## 2 发电主要设备概况及特点

济钢在未建设此项目前，焦炉煤气年富裕总量  $328.5 \times 10^6 \text{Nm}^3/\text{a}$ ；高炉煤气富裕量为  $184223 \text{Nm}^3/\text{h}$ ，

其中高炉煤气属低热值煤气(热值为 3316kJ/Nm<sup>3</sup>)。项目建成后焦炉煤气耗量 29188Nm<sup>3</sup>/h,高炉煤气耗量 130080Nm<sup>3</sup>/h,全厂发电总容量为 134.7MW。主要设备技术参数见表 1。

表 1 主要设备技术参数

项 目		参 数
燃 气 轮 机	型号	PG6561B-L
	输出功率	49.35MW
	转速	5133r/min
	运行方式	基本负荷
	热耗率	10160kJ/kWh
	排气温度	525
	排气流量	567.4t/h
	数量	两台
	生产厂家	南京汽轮电机厂
燃 气 轮 发 电 机	型号	QFR-50-2
	额定功率	50MW
	额定电压	10.5kV
	额定电流	3436.6A
	额定频率	50Hz
	冷却方式	空冷
	接线法	Y
	功率因数	0.8
	转速	3000r/min
	额定效率	98.2%
	励磁方式	交流无刷励磁
	数量	2 台
	生产厂家	南京汽轮电机厂
余 热 锅 炉	型号	Q427/525-70.0(10.5)-3.82(0.2)/450(132.9)
	形式	卧式烟道、立式螺旋翅片管自然循环水管锅炉
	中压锅炉额定蒸汽压力	3.82MPa

	项 目	参 数
	中压锅炉额定蒸汽温度	468 <sup>+5</sup> <sub>-10</sub>
	中压锅炉额定蒸汽产量	70t/h
	中压锅炉给水压力	4.61MPa
	低压锅炉蒸汽压力	0.2MPa
	低压锅炉蒸汽温度	132.9
	低压锅炉蒸汽产量	10.5t/h
	给水温度	104
	排烟温度	148
	排污率	1%
	余热利用率	74.03%
	烟气阻力	<2700Pa
	数量	2 台
	生产厂家	中国船舶工业总公司第七零三研究所
汽 轮 机	型号	L18-3.43-4
	形式	凝汽式汽轮机
	额定进汽压力	3.43 <sup>+0.2</sup> <sub>-1.37</sub> MPa
	额定进汽温度	440 <sup>+10</sup> <sub>-50</sub>
	额定功率	18MW
	最大连续功率	20MW
	额定转速	3000r/min
	额定进汽量	71t/h
	最大进汽量	76t/h
	额定排汽压力	0.00502MPa
	汽耗率（计算值）	3.79kg/kWh
	热耗率（计算值）	12056kJ/kWh
	数量	2 台
	生产厂家	南京汽轮电机厂

项 目		参 数
汽 轮 发 电 机	型号	QFWL-18-2
	额定功率	18MW
	额定电压	10.5kV
	额定电流	1237A
	频率	50Hz
	冷却方式	空冷
	接线法	Y
	功率因数	0.8
	转速	3000r/min
	额定效率	97%
	励磁方式	交流无刷励磁
	数量	2 台
	生产厂家	南京汽轮电机厂
煤 气 压 缩 机	型号	DMCL706+2MCL707
	形式	离心式煤气压缩机
	调节方式	入口导叶调节
	煤气额定进口压力	3000Pa
	煤气额定进口温度	35
	煤气额定出口压力	2.35MPa (g)
	煤气额定出口温度	236.1
	额定转速	7856r/min
	额定混合煤气量	82755Nm <sup>3</sup> /h
	额定轴功率	13333kW
	数量	2 台
	生产厂家	沈阳鼓风机厂
机 压 煤 电 缩 气	型号	1DZ1740-8CF02

项 目	参 数
额定功率	16.5MW
额定电压	10.5kV
额定电流	972A
频率	50Hz
冷却方式	空冷
接线法	Y
功率因数	0.95
转速	1500r/min
额定效率	97%
数量	2 台
生产厂家	德国西门子公司 (SIEMENS)

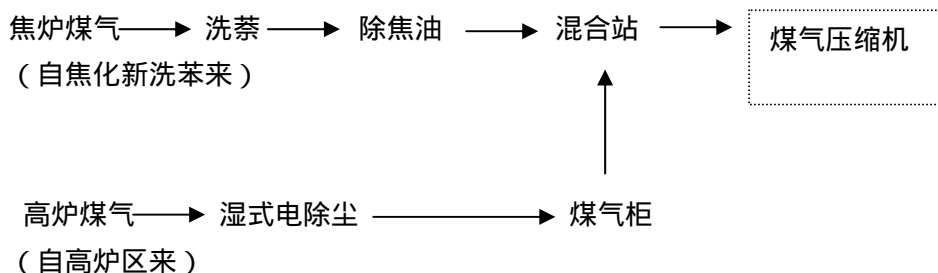
说明：燃气轮机性能参数是在 ISO 状态下（大气温度 15℃，大气压力  $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ ），进气压力损失 996Pa，排气压力损失 623Pa，大气相对湿度 60%，无注水、无注汽工况下数据。

### 3 系统简要说明

焦炉煤气自焦化新洗苯工段后首先进入洗苯塔，洗苯后的煤气自塔顶逸出进入电捕焦油器，除焦油后的煤气自电捕顶部逸出进入混合站。

高炉煤气自总厂区高炉煤气主管通过管道架空送至电除尘下部，除尘后的高炉煤气进入干式煤气柜，再进入混合站。

净化的流程如下：



由煤气混合站来的混合煤气进入煤气压缩机压缩至 2.35MPa/236℃ 后，进入燃气轮机燃烧。煤气压缩机分为低压和高压两部分，为控制压缩机出口煤气温度，在低压压缩机和高压压缩机出口分别设置冷却器，并在低压压缩机出口设气液分离器以确保燃气轮机入口煤气含水量。为保证煤气压缩机在启动、停机、事故时的正常运行，分别设置了三条回流管道以便于调节，并在高压压缩机出口至低压压缩机入口的回流管道上设回流冷却器调节煤气温度。

煤气压缩后分成两路，其中一路进入燃烧室燃烧，另一路经冷却器减温及调节阀减压后，再返回到煤气压缩机入口，煤气旁通冷却系统的主要作用是调节启动、停机时的煤气量及事故时冷却全部煤气量。

燃气轮机做功后的排气进入余热锅炉，采用双压、自然循环无补燃的卧式余热锅炉。通过三通挡板控制烟气流向，系统简单循环时，三通挡板阀隔离余热锅炉烟道，烟气流经三通烟道（三通挡板阀）上部，从旁通烟囱排出；系统联合循环时，三通挡板阀隔离旁通烟囱，烟气流经三通烟道（烟气调节门）进入余热锅炉本体，依次水平横向冲刷中压过热器、中压蒸发器、中压省煤器、低压蒸发器、低压省煤器，再经过出口烟道由主烟囱排出。在受热面中产生蒸汽，蒸汽经过过热器加热后进入蒸汽轮机做功，输出功率，组成燃气-蒸汽联合循环，提高整个联合循环的效率。

#### 4 设计中需注意的问题

##### 4.1 设计规程规范

由于燃料是煤气，而电力行业又没有与煤气相关的规程规范，因此，在电厂设计过程中除了需要执行我们行业的规定外，对于煤气部分还需执行有关的国家标准和冶金行业的设计规定，如《工业企业煤气安全规程》、《冶金企业安全卫生设计暂行规定》、《发生炉煤气站设计规范》、《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》等。

##### 4.2 煤气成分要求

根据燃机供应商的“气体燃料规范”的要求，燃机进口低位发热量设计值为  $5764\text{kJ}/\text{Nm}^3$ （允许波动范围  $5187 \sim 5995\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ），需要将高炉煤气和焦炉煤气两种煤气混合才能满足供应商对煤气的发热量要求，对于这个工程的高炉煤气和焦炉煤气成分，通过计算，两种煤气的混合比约为焦炉煤气 高炉煤气=1 4.87，按此设计混合站两种介质的流量。因此，在设计时应将燃机供应商对燃料的要求与所要采用的燃料加以对照，看是否吻合，若不吻合需要采取措施。

##### 4.3 启动燃料

PG6561B-L 型燃机启动时使用-20 号轻柴油，品质需符合美国通用电气公司 GEI-41047FH“液体燃料规范”。送到燃气轮机燃油进口法兰处的轻柴油参数为：

压力	0.21MPa ~ 0.59MPa
流量	6 ~ 300L/min
温度	4

一台机组启动时用量一般为  $5000\text{kg}/\text{h}$ ，最大  $11000\text{kg}/\text{h}$ ，经 16 分钟 10 秒，负荷带到 30%后可切换开始用混合煤气。单台燃机每启动一次约平均耗油  $1350\text{kg}$ ，最大为  $2965\text{kg}$ ，项目共设置 2 座  $35\text{m}^3$  的轻油罐，2 台供油泵。为了满足燃机进口油的粘度要求，燃油管道考虑了电伴热，燃油在进入燃机前经过一双联过滤器，过滤精度为  $5\mu\text{m}$ 。

##### 4.4 防爆设计

由于燃料为煤气，防爆要求严格，从主厂房设计到设备选择及工艺流程的设计中都需要考虑防爆。考虑到机组停运时多余的煤气需排放掉，在进入煤气压缩机前设置放散塔。在煤气设备和煤气管道的最高处、煤气管道及卧式设备的末端、煤气设备和管道隔断装置前均设置放散管。放散管口需要高出煤气管道、设备和平台 4m，离地面不能小于 10m。厂房内的放散管口需要引出厂房外。煤气管道的排水需要设置带水封的排水器，封住煤气不外漏。

在煤气设备易发生爆炸的部位还需设置泄爆阀。在闸阀后较低的管段上、膨胀器或碟阀组附近、设备的顶部和底部、煤气设备和管道需经常入内检查的地方，还需设置人孔，人孔盖上需要设置吹扫管头。

在煤气压缩机房内设有一氧化碳监测装置，并把信号传送到管理室内。

启动过程需考虑煤气管道的置换，采用  $\text{N}_2$  气为置换气体。工程中的压缩氮气共分 3 种压力： $2.9\text{MPa}$

的高压氮气用于燃气轮机的清吹和隔离；0.7~0.8MPa 的中压氮气用于煤压机的密封隔离以及煤压机房、余热锅炉的仪表控制；0.4MPa 的低压氮气用于电捕焦油器、电除尘器的氮气密封以及高炉煤气柜的吹扫。氮气增压机站内设有两台 600Nm<sup>3</sup>/h、5.0MPa(g)氮气增压机，一台 5.0MPa、100m<sup>3</sup>和一台 3.0MPa、100m<sup>3</sup>的氮气储罐，能够满足两套燃机清吹同时使用。

## 5 结语

济钢燃气—蒸气联合循环发电工程动态总投资为 58300 万元，单位千瓦造价为 4417 元，联合循环电厂全厂热效率为 50.11%，联合循环电厂发电标煤耗 245.5g/kW.h。自投运以来，给济钢带来了极大的经济效益，因此济钢集团今年决定再建设 6 套机组，目前正在进行施工图设计。

低热值气体燃料的开发利用提高了资源利用的综合效益，极大地减少了能源生产的环境污染。通过济钢项目的实施，利用结构调整中节余的焦炉煤气和回收放散的高炉煤气，减少了煤气排放对周围环境的污染，采用高效率的燃气—蒸气联合循环发电机组实施发电，缓解了电力供应紧张的矛盾，且所发电力就近供济钢本企业负荷，可减少电力输送过程中的损耗。济钢冶金生产的副产品煤气用于电力生产可使其得到充分、合理、高效的综合利用，降低了济钢全集团的生产成本、增强了企业产品的市场竞争力。这种发电模式是钢铁行业节约成本、减少污染的较好途径。

---

注：本文发表在《电力勘测设计》2006 年