

超高温超高压煤气发电技术在钢铁行业的应用

吴永金

江苏大航微电网科技有限公司, 江苏 镇江 212211

[摘要] 由于国家对高耗能企业实施了一系列节能减排的强制措施, 尤其要求钢铁行业高炉尾气不准放散, 使得国内钢铁行业面临巨大的环保压力; 另一方面, 降低生产成本是钢铁行业占有市场的关键要素, 也是刚性需求。按照“减量化、资源化、无害化”的原则, 在实现清洁生产的前提下对放散煤气进行回收, 实现污染物超低排放, 达到保护环境; 同时也须遵循技术先进、安全卫生、运行可靠、经济适用的原则确定建设方案。

[关键词] 超高温超高压; 煤气发电; 节能

DOI: 10.33142/ect.v2i5.12179

中图分类号: TK123

文献标识码: A

Application of Ultra-high Temperature and Ultra-high Pressure Gas Power Generation Technology in the Steel Industry

WU Yongjin

Jiangsu Dahang Microgrid Technology Co., Ltd., Zhenjiang, Jiangsu, 212211, China

Abstract: Due to the implementation of a series of mandatory energy-saving and emission reduction measures by the government on high energy consuming enterprises, especially the requirement that blast furnace exhaust gas in the steel industry should not be released, the domestic steel industry is facing enormous environmental pressure; On the other hand, reducing production costs is a key factor for the steel industry to occupy the market, and it is also a rigid demand. According to the principles of "reduction, resource utilization, and harmless treatment", under the premise of achieving clean production, recover the released gas, achieve ultra-low pollutant emissions, and protect the environment; At the same time, it is necessary to follow the principles of advanced technology, safety and health, reliable operation, and economic applicability to determine the construction plan.

Keywords: ultra-high temperature and ultra-high pressure; gas power generation; energy-saving

在保持经济可持续发展的背景下, 高效而环保的能源转化方式显得尤为重要。超高温超高压煤气发电技术能有效提升煤气发电的全厂热效率。本文将简析这一技术的基本工作原理、工艺系统、节能效果, 为钢铁行业富余煤气综合利用提供一点成熟经验。这是在天津市某钢厂区内, 利用富余放散的高炉煤气及转炉煤气, 建设的一座 $1\times 65\text{MW}+70\text{MW}$ 超高温超高压余热电站, 有效地回收利用了富余煤气, 并实现了烟气的超低排放。



图1 富余放散的高炉煤气及转炉煤气图

1 超高温超高压煤气发电技术

钢铁行业生产过程中会产生大量的废烟气, 主要成分为一氧化碳, 是可以再次被利用的重要二次能源。煤气发电技术就是充分利用富余的煤气发电使其变废为宝, 既获得了较好的经济效益, 又减少煤气放散造成的环境污染, 符合国家节能减排的产业政策。

煤气发电技术主要是通过燃气锅炉燃烧厂区富余的煤气产生蒸汽, 通过对蒸汽参数进行调节优化, 将蒸汽供入汽轮机发电。当前, 超高温超高压煤气发电是一种效率高、技术成熟的钢厂余气利用方式, 通过进一步提高蒸汽初参数和一次中间再热, 提高了机组的热效率。设备主要选择成熟、可靠、先进的燃气锅炉及汽轮发电机组, $13.7\text{MPa}/571^\circ\text{C}$ 蒸汽参数的燃气锅炉作为工程的设计炉型, 燃气锅炉烟气排放指标达到国内先进水平, 烟气脱硫系统采用成熟技术, 装有可靠的低氮燃烧器, 炉膛至尾部烟道间预留炉内脱硝空间; 汽轮发电机组采用中间一次再热凝汽式汽轮机, 使全厂热效率至少提高六个百分点。

2 钢铁行业富余煤气情况及利用技术

以天津市新天钢联合特钢有限公司为例, 该企业生产过程中存在大量的煤气放散现象, 既严重污染环境, 又造成大量可利用的能源浪费。富余煤气资源情况见表1。

表1 天钢富余煤气资源情况

项目	单位	数值
1250m^3 座高炉富裕高炉煤气量	Nm^3/h	120000
高炉煤气热值	KJ/Nm^3	750
转炉富裕转炉煤气量	Nm^3/h	50000
转炉煤气热值	KJ/Nm^3	1520

根据煤气平衡计算,折合可利用富余高炉煤气资源约 $22 \times 10^4 \text{Nm}^3/\text{h}$,合 17.6 亿 Nm^3/a 。

为了充分回收利用富余的高炉、转炉煤气,结合企业实际电负荷,建设了煤气锅炉及汽轮发电机组。该工程采用 220t/h 超高温超高压再热燃煤气锅炉及 $1 \times 65\text{MW} + 70\text{MW}$ 凝汽式超高温超高压汽轮发电机组,电站实际发电量为 $65\text{MW}/\text{h}$,装机方案见图 1。按年利用 8000h 计算,机组年发电量可达 $5.2 \times 10^8 \text{kWh}$,年外供电量 $4.784 \times 10^8 \text{kWh}$ 。

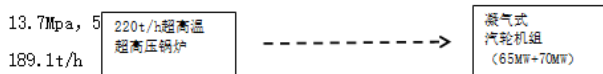


图 1 装机方案

3 主要设备参数

(1)该工程锅炉采用 220t/h 超高温超高压一次再热燃煤气锅炉,主要设计参数见表 2。

表 2 煤气锅炉主要技术数据

项目	单位	数值
锅炉型号	杭锅	G220/13.7-1
额定蒸发量	t/h	220
额定蒸气压力	MPa (g)	13.7
过热蒸气温度	℃	571
再热蒸气流量	t/h	153.3
再热器进口蒸气压力	MPa	2.79
再热器出口蒸气压力	MPa	2.72
再热器进口蒸气温度	℃	360
再热器出口蒸气温度	℃	571
给水温度	℃	250
煤气加热器出口烟温	℃	≤140
锅炉设计热效率	%	89.3
设计燃料		高转炉混合煤气

(2)该工程汽轮发电机组采用 65MW 超高温超高压、一次再热、凝汽式汽轮机和 70MW 发电机,机组主要技术参数如表 3、表 4。

表 3 汽轮机主要技术数据

项目	单位	数值
汽轮机型号	东汽	CN65-13.2/566/566
额定功率	MW	65
主蒸汽额定进汽压力	MPa (g)	13.2
主蒸汽额定进汽温度	℃	566
主蒸汽额定流量	t/h	189.1
再热蒸汽额定进汽压力	MPa (a)	2.697
再热蒸汽额定进汽温度	℃	566
再热蒸汽额定进汽流量	t/h	153.3
额定背压	kPa (a)	4.9
额定转速	r/min	3000

表 4 发电机主要技术数据

项目	单位	数值
发电机型号	济南	50WX18Z-059LLT
额定功率	MW	70
额定转速	r/min	3000
额定电压	kV	10.5
额定频率	Hz	50
功率因素	MPa (a)	0.85
定子线圈接法		Y
励磁方式		无刷励磁

4 工艺系统

4.1 煤气系统

供气系统:高炉转炉混合煤气由厂区煤气管网专用管道送达电站,再由电站煤气干管接入烟气-煤气加热器,通过锅炉出口的烟气来预热混合煤气,降低锅炉排烟温度,提高经济性。

煤气加热后经过各支管接入锅炉燃烧器。电站红线范围内高炉煤气总管分别设置电动硬密封三偏心蝶阀、电动插板阀保证可靠的隔绝,另外高炉煤气管道上按照国家的规程规范设置流量测量装置、快速切断阀、调节阀、检查门、吹扫管、放散管、排水器等必要的管件及安全附件。燃气输送电气设施均考虑防爆。

煤气系统:电装采用防爆、防水电装,阀门为三偏心金属硬密封蝶阀。煤气管道上根据需要设置补偿器,高炉煤气总管道上设计为电动蝶阀、电动插板阀、液压快切阀。支管煤气管道依次为电动蝶阀、气动快切阀、电动调节阀。煤气均有取样管,便于运行人员操作取样。煤气管道上管件采用耐腐蚀材质。煤气管道底部装有排水和管道保温设施。设可燃气体检测仪(数据传至主控室)的地方:插板阀、排水器、燃烧器阀门区域、本体八米平台、锅炉零米、主控室。煤气管道氮气吹扫点,煤气流量计装有氮气反吹装置。

4.2 烟风系统

空气经送风机加压,由空气预热器加热后的热风送入炉膛助燃,风机选型充分考虑压力及温度修正,锅炉烟风采用双送双引系统。助燃风经空气预热器加热后由燃烧器喷入锅炉助燃,锅炉炉膛内燃烧生成的烟气经过热器、再热器、省煤器、空预器及煤气加热器换热冷却后由引风机送入高钢筋混凝土烟囱,排入大气。锅炉点火采用天然气自动点火;煤气燃烧器呈对墙布置,共计 9 台,两层布置。

4.3 热力系统

热力系统包括蒸汽输送、给水系统、凝结水系统、抽汽系统、疏放水系统、冷却水系统、抽真空系统等。

(1)主蒸汽、再热蒸汽及汽轮机旁路系统。主蒸汽管道从锅炉过热器集箱出口接至汽轮机双联主汽阀,再分四路接至汽轮机高压缸。

再热冷段蒸汽管道从汽轮机高压缸排汽口接出,经过

止回阀后,接至锅炉再热器入口联箱。再热热段蒸汽管道从锅炉再热器出口联箱接出,至汽轮机中压缸中压联合汽阀,再接至汽轮机中压缸。

主蒸汽管道不设置隔离阀,水压试验时采用堵阀来隔离锅炉和汽轮机,自动主汽门前加装一个电动闸阀。

机组设置容量为BMCR30%的二级串联旁路系统,以改善机组冷、热态启动条件,缩短启动时间。旁路的功能只考虑在冷态等工况下机组启动和正常停机,旁路系统不考虑热备用。其高压旁路由一组高压旁路阀、喷水调节阀和喷水隔离阀组成。低压旁路则由低压旁路阀和喷水调节阀和喷水隔离阀组成。

(2) 抽汽系统。汽轮机共设六级非调整抽汽和一级可调整抽汽。一段抽汽由汽轮机高压缸中间抽汽接出供2号高压加热器用汽;二段抽汽从高压缸排汽抽出用作1号高压加热器的加热蒸汽;三段为非调整抽汽,采暖期为厂区提供热源,抽汽经减温减压后并入厂区管网;四段抽汽为除氧器的加热蒸汽;五、六、七、八段抽汽分别供给4号、3号、2号、1号低压加热器的加热蒸汽。除氧器采用滑压运行方式。

(3) 给水系统。机组设置二台110%容量的电动调速给水泵,一台运行,一台备用。电动给水泵采用变频调速,能够满足机组负荷变化的要求。

锅炉给水操作台设有两路:主路、大旁路(50%)。主路和大旁路上均装设进口调节阀。给水泵再循环调节阀采用进口阀门。

锅炉再热器事故喷水从给水泵中间抽头接出。锅炉过热器减温水及汽轮机高压旁路减温水从给水泵出口主给水管道上接出。

主给水系统中设置两台全容量、立式、内置三段式带疏水冷却段的高压加热器,并且对该两台高压加热器设置有给水大旁路,以备高加切除时所用。

(4) 凝结水系统。凝结水由凝汽器热井经总管引出,然后分两路至二台全容量凝结水泵(一台备用),合并后经汽封加热器、低压加热器至除氧器。

汽封加热器为表面式热交换器,用以凝结轴封漏汽和低压门杆漏汽,其微真空状态由汽封加热器风机维持,以防止蒸汽漏入大气及汽机润滑油系统或者空气漏入汽机。

凝结水系统设有再循环管路,自汽封加热器出口的凝结水管路,经再循环阀回到凝汽器,以保证启动和低负荷期间凝结水泵通过最小流量运行,防止凝结水汽化,同时也保证在启动和低负荷时有足够的凝结水流经汽封加热器。

正常补水由补水泵直接打进凝汽器,通过补水调节阀控制凝汽器水位。

(5) 加热器疏水系统。正常运行时,高加疏水逐级自流最终去除氧器。事故时,高加疏水至高加危急疏水扩容器。低加疏水系统为逐级自流加疏水泵系统。低加疏水逐级至1号低加后,再经低加疏水泵升压,从2号与1

号低加之间的凝结水管道,进入凝结水系统;也可经切换自流进入凝汽器。

(6) 冷却水系统。给水泵油站冷却、给水泵电机冷却等设备冷却水采用工业水冷却,由工业水管网直接供给。循环水配胶球清洗装置(配二次滤网,收球装置采用H型收球网)。

发电机空冷器、汽轮机冷油器、汽轮机凝汽器采用循环冷却水冷却,空冷器、冷油器另加一路工业水冷却水源,夏季时循环水管道补入工业水和降低循环冷却水温。

(7) 凝汽器抽真空系统。凝汽器的抽真空系统由两台水环真空泵及相关管路组成。机组正常运行时,水环真空泵一台运行,一台备用。当机组启动时,为了尽快建立起真空,可同时启动两台水环真空泵。在抽空气管道上,设有真空破坏阀,当机组发生事故时,用以迅速破坏真空,缩短转子惰走时间。真空破坏阀在机组运行时需注满凝结水。

4.4 主厂房布置

(1) 电站平面尺寸40×32m,檐口高度约23.0m,二层,柱距8m、厂房内一台50/10t桥式吊车,采用钢筋混凝土框架结构,厂房内8.0m平台、发电机基础为框架式钢筋混凝土结构,设备基础为块式钢筋。彩色压型钢板屋面,内设岩棉保温层,紧邻电站主厂房部分为除氧器厂房,平面尺寸40×10m,檐口高度约29.7m,五层、局部六层、柱距8m,一层为电气配电室,二层为电缆夹层,三层为控制室,四层管道布置,五层为除氧器平台,局部六层为消防水箱。

(2) 燃气锅炉房

柱间尺寸为22.6m×18m,锅炉基础为钢筋混凝土桩基,鼓风机基础为块式钢筋混凝土基础。锅炉四周做钢筋混凝土辅助平台,平台标高为8.0m。

(3) 锅炉辅助间

平面尺寸30×7.5m,檐口高度约15m,三层、柱距8m,一层为变频器室,二层为办公室,三层为锅炉设备间。

(4) 送风机、引风机

现场布置2台引风机、2台送风机。

(5) 钢筋混凝土烟囱

钢筋混凝土烟囱高80m,上口直径3.2m,烟囱内设100mm珍珠岩板及烧结粘土砖。

(6) 循环水泵站

平面尺寸60×12m,檐口高度约8.2m,地下一层、地上一层,柱距7.5m,地下一层为泵基础及消防水池,屋面悬挂1台5t的单梁吊,厂房端部为配电室,结构形式采用钢筋混凝土框架结构,现浇钢筋混凝土梁、板柱、抗渗钢筋混凝土箱型桩基础。

(7) 机力冷却塔

冷却塔框架结构平面尺寸48m×16m,高度12.2m,底部为循环水池平面尺寸48m×17.6m,池底标高-2.50m,水池顶标高0.000m,二层为填料层、三层为管道层、四层为冷却塔,水池结构形式为钢筋混凝土防水结构,结构采用防水钢筋混凝土框架结构,抗渗等级P6。

(8) 变配电室。包括 35kv 配电室,发电小室及室外主变压器。

35kv 配电室,发电小室结构均为钢筋混凝土框架结构,钢筋混凝土梁板柱,钢筋混凝土桩基。

室外主变压器基础为钢筋混凝土板式基础,变压器四周防护钢围栏。变压器外面设事故油池。

4.5 自动化与检测仪表

控制系统为 1 套电站 DCS,1 套锅炉 DCS,循环水泵站作为电站 DCS 的子站,其他公辅的仪表及控制信号进电站 DCS 系统。本工程自动化系统主要完成电站生产全过程的数据采集和处理,数据显示和记录,数据设定和生产操作,执行对生产过程的连续调节控制和逻辑顺序控制。主要由各子控制站,操作员站,工程师站,网络(以太网)及网络连接装置、打印机等设备组成。

自动化系统的设计以先进、可靠、实用为原则,设置手动和自动两种操作方式,尽量减少故障点,发挥设备的最大效率。仪表设备将按照高精度及高可靠性的原则,选用中国国内高级设备。

控制系统主要采用国内著名品牌 DCS 厂家的产品,控制方式:分现场控制,手动控制和自动控制。

4.6 能源小结

电站运行方式以发电为主,年运行时间 8000 小时。

表 4 煤气发电工程技术经济指标表

序号	项目名称	单位	数值	备注
1	燃气锅炉	台	1	
2	额定蒸发量	t/h	220	
3	年产蒸汽量	10 ⁴ t	176	
4	年运行时间	h	8000	
5	65MW 凝汽式汽轮发电机组	台	1	
6	额定发电量	MW	65	
7	抽汽量	t/h	30	
8	年抽汽量	10 ⁴ t	24	
9	年发电量	10 ⁶ kW·h	5.2	
10	混合煤气年耗量(折算高炉煤气量)	10 ⁶ m ³	14.6	
11	劳动定员	人	60	

(1) 项目能源耗用分析。锅炉为超高温超高压燃气锅炉,燃料为高炉煤气及转炉煤气混烧,在正常生产中还消耗电、水等能源。

(2) 燃料。锅炉燃料采用高炉煤气及转炉煤气的混合煤气,按 80:20 配比。锅炉点火采用天然气。

(3) 电。年总发电量为 5.2×10⁸kWh,自用电 4.16×10⁷kWh,外送电量为 4.784×10⁸kWh。

(4) 水。电站内生活水主要为工作人员生活用水及化验用水。生活用水量 1m³/d,最大用水量为 2m³/h,供水压力 ≥0.35MPa,间断使用,生活给水由生活水管网直接供给。

生产-消防给水主要供给循环水系统补水及室外消防

给水,由钢厂生产-消防管网直接供给。循环水系统补水量 147m³/h。除盐水给水系统主要供给高压锅炉补水。正常用水量为 5m³/h,抽气时最大用水量为 50m³/h。除盐水接自钢厂除盐水管网。

5 能源平衡

按照电站发电 8000h 计算,扣除消耗,实际耗能 -18583 tce/a,实现净能源回收。能源平衡表如下:

表 5 能源平衡表(煤气计入)

序号	项目	数量	单位	折标系数	能源消耗(tce)
一	消耗				176081
1	高炉煤气	1460000	10 ³ m ³ /a	0.112	163520
2	电	39000	10 ³ kWh/a	0.315	12285
3	新水	1006	10 ³ m ³ /a	0.257	259
4	除盐水	34	10 ³ m ³ /a	0.5	17
二	产出				194664
1	电	520000	10 ³ kWh/a	0.315	163800
2	蒸汽	240000	t/a	0.1286	30864
三	项目能耗				-18583

表 6 能源平衡表(煤气不计入)

号	项目	数量	单位	折标系数	能源消耗(tce)
一	消耗				12561
1	电	39000	10 ³ kWh/a	0.315	12285
2	新水	1006	10 ³ m ³ /a	0.257	259
3	除盐水	34	10 ³ m ³ /a	0.5	17
二	产出				194664
1	电	520000	10 ³ kWh/a	0.315	163800
2	蒸汽	240000	t/a	0.1286	30864
三	项目能耗				-182103

6 能源评价

按照电站发电 8000h 计算,年消耗燃料、水电折标准煤 176081 吨标准煤,年发电及抽汽折标准煤 194664 吨标准煤,实际耗能-18583tce/a,实现净能源回收。项目使用燃料属可利用的二次能源,项目每年可实现节能达 182103 吨标准煤,节能效益、经济效益和环境效益显著。

[参考文献]

[1]薛涛.钢铁厂高温超高压煤气发电技术的分析与应用[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(1):101-102.

[2]张海荣.煤气发电技术在某钢铁企业的应用[J].节能与环保,2017(8):3.

作者简介:吴永金(1968.11—),男,学历:本科,毕业院校:中共中央党校,所学专业:经济管理专业,优秀共产党员,目前职称:设备安装专业中级工程师,目前就业单位:江苏大航微电网科技有限公司。