

纯燃高炉煤气联合循环发电热力系统优化探讨

崔合群

(首钢股份公司迁安钢铁公司,河北迁安 064404)

【摘要】介绍首钢股份迁安钢铁公司 M251S 型纯燃高炉煤气联合循环发电热力系统,优化热力系统参数,提高了联合循环发电(CCPP)的连续最大出力,为钢铁厂建设高效联合循环发电机组提供借鉴。

【关键词】 联合循环发电;热力系统;参数;优化

【中图分类号】 TK229

【文献标识码】 B

【文章编号】 1006-6764(2015)06-0035-05

A Discussion on Optimization of the Thermodynamic System for Combined Cycle Power Plant Using BF Gas

Cui Hequn

(Qianan Iron & Steel Company of Shougang Iron & Steel Co., Ltd., Qianan, Hebei 064404, China)

【Abstract】 The thermodynamic system of M251S gas-steam combined cycle power generating plant (CCPP) using blast furnace gas is introduced. The parameters of thermodynamic system were optimized, which has increased the continuous maximum output of CCPP, providing reference for construction of high-efficiency CCPP in steel companies.

【Keywords】 CCPP; thermodynamic system; parameter; optimization

1 前言

近年来,钢铁企业陆续建设了高效节能的燃高炉煤气联合循环发电机组(CCPP),以提高自发电量,减少外购电量,取得了很好的经济效益。

迁安钢铁公司自 2009 年 2 月投产 1×150 MW M701S (DA)CCPP,2013 年 10 月及 12 月连续投产 M251S 2×50 MW CCPP,截至目前,总装机容量 37 MW,自发电稳定在 29.95 MW/h,外购电量 11.87 MW/h,总用电量 41.8 MW/h,自发电率达到了 71.65%。

迁安钢铁公司后投产的 M251S CCPP,充分借鉴其他兄弟单位同类型机组热力系统设计经验,经过创新,进一步优化了热力系统参数,在使用相同高炉煤气量的前提下,燃机+汽机联合循环出力能够连续稳定在 51 MW 运行,平均超出现有同类型机组联合出力约 4 MW。

2 M251S CCPP 热力循环系统

M251S CCPP 燃机已是三菱公司经过逐步设计优化后,国内组装,关键热部件进口的相对固定成熟的机型,逐步实现了国产化,通过优化燃烧方式,使燃机适应了更广泛的煤气热值范围,能够稳定的实现全燃高炉煤气的零值班运行方式,运行方式多样,

启停机灵活,能够较快速调整钢铁厂煤气以保证煤气动态平衡,节约了大量的优质焦炉煤气能源,由于燃机热力系统相对固定,燃机出力已相对固定,为追求联合出力最大化,围绕燃机启动后排烟变化使余热锅炉安全快速高效产汽,汽轮机安全快速适应余热锅炉的产气能力带负荷及高出力是 CCPP 热力系统研究的重点。

3 燃机与余热锅炉的热力系统匹配

为保证 M251S CCPP 的燃机和汽轮发电机联合出力最优,需依据煤气、氮气、生产水、气候条件对 M251S CCPP 热力循环系统燃机发电及排烟情况进行计算,从而依据燃机运行的各工况对余热锅炉进行热力计算,以选出优化的蒸汽参数。

经过对燃机各工况下的燃烧计算,测定出燃机在各工况下排烟参数见表 1,依据表 1,考虑排烟系统设计时燃机排气温度变化 $\pm 5\%$,燃机排气流量变化 $\pm 3\%$,给出余热锅炉的性能保证用排烟参数见表 2 及图 1。

图 2 显示了燃机启动过程中排烟温度变化过程,从图 2 看出,在燃机点火至定速并网近 1600 s 内(实际约 2400 s),排烟温度迅速由 130 $^{\circ}\text{C}$ 左右升高至 500 $^{\circ}\text{C}$ 稳定在 430 $^{\circ}\text{C}$ 左右,余热锅炉只要具备

表1 燃机各工况燃烧计算

燃烧计算	冬季(按气温 8℃计算)		夏季(按气温 8℃计算)	
	零值班不掺氮气	值班掺氮	值班不掺氮气	零值班掺氮
高气湿热值/(kJ/m ³ -dry)	3138	3499 掺氮(target LHV=3141 kJ/m ³ -dry)	3138	3499 掺氮(target LHV=3090 kJ/m ³ -wet)
焦气湿热值/(kJ/m ³ -dry)	17245	17245	17245	17245
高气压力/(kPa(g))	11.0	11.0	11.0	11.0
大气压/hPa	1023.4	1023.4	1002.2	1002.2
湿度/%	52.0	52.0	79.0	79.0
计算结果				
烟气流量/(t/h)	584	571	514	516
烟气密度/(kg/m ³)	1.373	1.366	1.343	1.345
排烟温度/℃	550	562	582	584

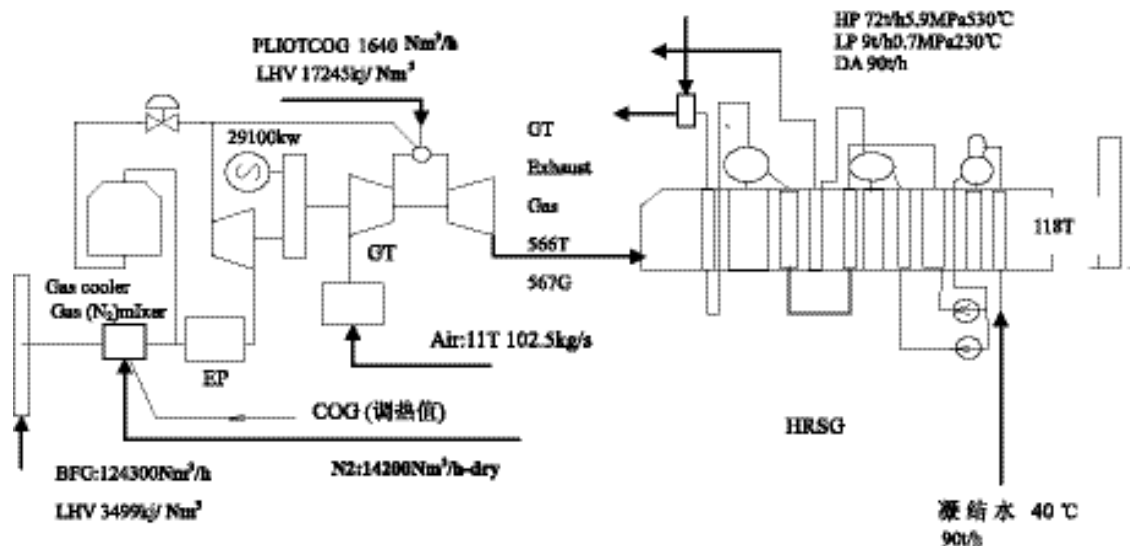


图1 燃机与余热锅炉热力系统图匹配

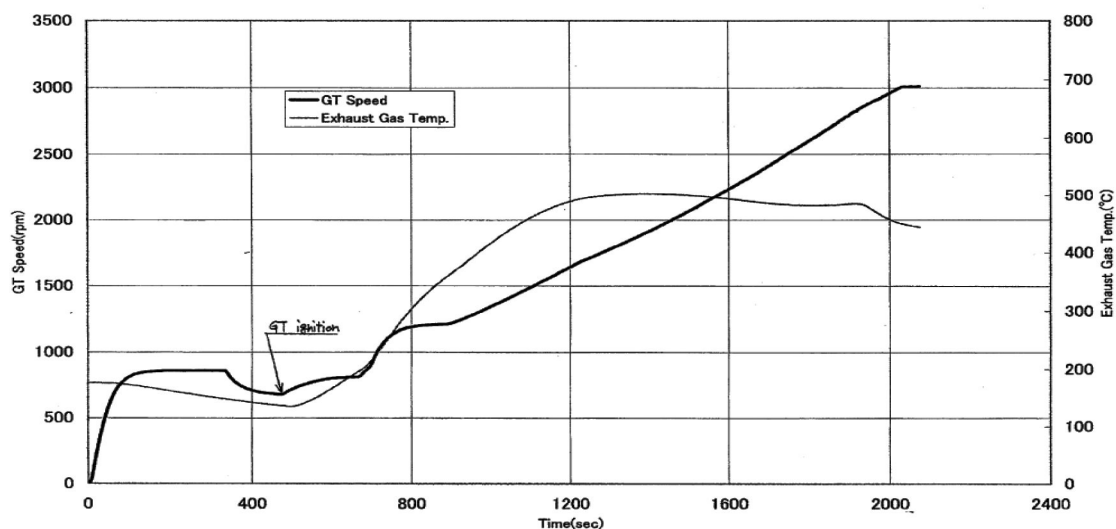


图2 燃机启动与排烟温升

启动条件,余热锅炉结构及热应力设计时充分考虑排烟边界条件,温升速率,做好热应力计算,从实际运行看余热锅炉是可以随着燃机点火、定速实现伴随启动,逐步产汽进行暖管的,可不用烟道旁路烟窗调节烟气流量,以配合余热锅炉启动,从而简化了系统,节省投资,因此可不考虑设计燃机旁路烟窗,见图1。依据表2及图1,余热锅炉各工况计算结果,选定余热锅炉的锅炉形式为双压、无补燃、自然循环,带除氧器的双压余热锅炉,除氧器为压力式除氧器,除氧蒸汽由余热锅炉自带的除氧蒸发受热面产生,给水经过凝结水换热器尾部烟气换热,提高给水温度,降低排烟温度,余热锅炉热效率得以提高,相关热力参数见表3。

表2 余热锅炉各工况热力测算

序号	名称	性能保证	冬季工况	夏季工况	最大工况
一	烟气数据				
1	燃机排气压力/kPa	3.5	3.6	2.9	3.7
2	燃机排气流量/(kg/s)	157.5	162.22	142.78	162.22
3	燃机排气温度/℃	566	550	584	584
4	烟气成分 (湿烟气,体积百分比)				
5	Argon/%	0.6779	0.6779	0.6779	0.6779
6	N ₂ /%	74.2583	74.2583	74.2583	74.2583
7	O ₂ /%	10.1554	10.1554	10.1554	10.1554
8	CO ₂ /%	11.8993	11.8993	11.8993	11.8993
9	H ₂ O/%	3.009	3.009	3.009	3.009
10	SO ₂ /%	0	0	0	0
二	余热锅炉性能数据				
1	高压高温过滤器				
a	出口烟气温度/℃	553.80	543.20	565.90	567.20
b	出口蒸汽压力/bara	60.00	60.00	60.00	60.00
c	出口蒸汽温度/℃	530.00	528.20	530.00	530.00
d	蒸汽流量/(t/h)	73.51	72.79	71.03	80.35
6	低压过热器				
a	出口烟气温度/℃	238.30	240.60	237.70	239.40
b	出口蒸汽压力/bara	8.00	8.00	8.00	8.00
c	出口蒸汽温度/℃	229.40	230.90	229.40	230.10
d	蒸汽流量/(t/h)	10.40	11.09	9.54	10.80
12	凝结水加热器				
a	出口烟气温度/℃	118.00	111.10	108.30	110.50
b	水流量/(t/h)	83.92	83.88	80.57	91.12
c	入口水温度/℃	40.00	35.00	40.00	40.00
d	出口水温度/℃	86.70	85.10	85.00	84.20

表3 余热锅炉热力参数

名称	HP 系统	LP 系统	DA 系统
额定出力/(t/h)	72	9	90
额定主蒸汽压力/MPa(g)	5.9	0.7	-
额定主蒸汽温度/℃	530	230	-
锅炉内蒸汽工作压力/MPa(g)	6.3	0.75	1.5
给水温度/℃	127	127	40
给水压力/MPa(g)	6.5	0.9	4.2
锅炉排烟温度/℃	≈118	≈118	≈118

4 余热锅炉与汽轮机热力系统匹配

在联合循环中,汽轮机的出力直接影响到整个循环的效率,在燃机功率一定的情况下,最大限度提高汽轮机的出力及快速带负荷能力就能得到最高的循环效率。

在其它条件不变的情况下,汽轮机的出力主要取决于进入汽轮机的蒸汽参数及汽轮机的内效率。进汽温度决定于燃机功率。一般不会有大的变化,但进气压力可以通过调节阀进行调节,提高蒸汽压力使单位蒸汽量的做工能力增加,由于受燃机排烟温度及排烟量的限制,余热锅炉的产汽量将因蒸汽压力提高而降低,因而最大的汽轮机出力取决于和进气压力之间的最佳匹配,因此汽轮机滑压运行时汽轮机效率是最高的。

燃机快速启动与余热锅炉的快速产汽,客观上要求联合循环汽轮机也能快速启动。

因此,对联合循环汽轮机在热力系统及参数匹配上提出了如下要求。

(1)燃机的快速启动(见图2),相应要求汽轮机快速启动,以缩短启联合循环启动时间,要求汽机对通流及本体设计时考虑全周进汽,上下缸均匀对称,加大疏水等措施。

(2)汽轮机滑压运行,以提高整个联合循环效率。

(3)燃机余热锅炉及汽机启动时间的不同步(见图2图3),要求汽轮机热力系统能够带有旁路系统。

联合循环汽轮机与余热锅炉热力系统优化见图4所示。

4.1 联合循环汽轮机参数

依据燃机、余热锅炉及当地气象条件分别对汽轮机进行冬夏季及额定、正常、最大高低压进汽工况点计算如表4。

结合热力条件及参考汽轮机厂现有标准机型,选定联合循环汽轮机参数如下:

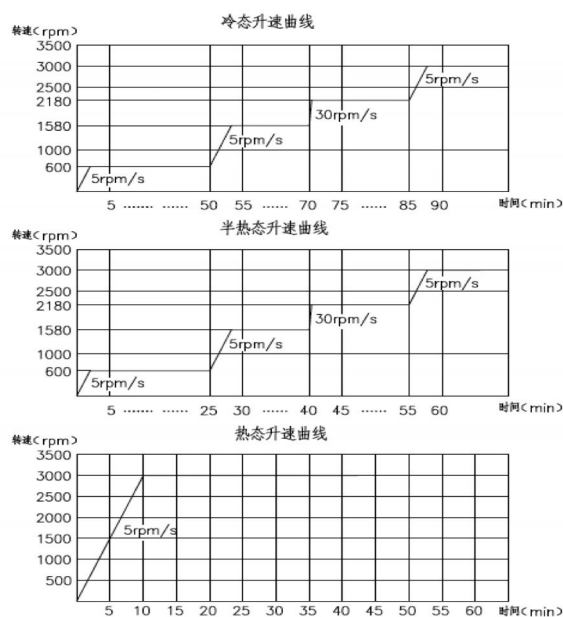


图3 汽轮机冷温热态升速曲线

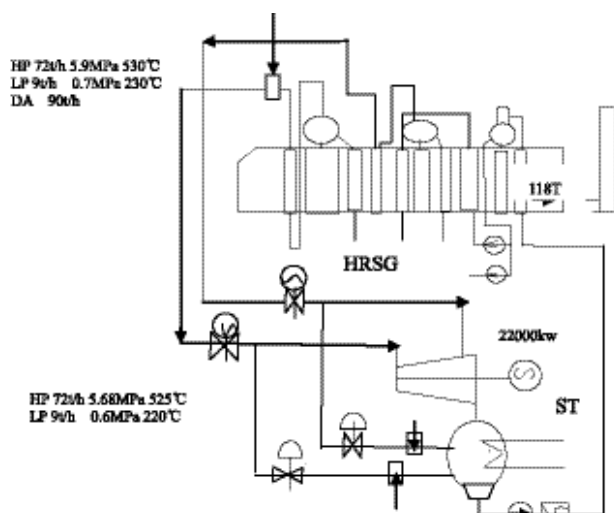


图4 汽轮机与余热锅炉热力系统图匹配

表4 汽轮机各工况热力计算

名称	冬季额定	夏季额定	冬季正常	夏季正常	冬季最大	夏季最大
进汽压力/MPa(a)	5.68	5.68	5.68	5.68	5.68	5.68
进汽温度/℃	525	525	525	525	525	525
进汽流量/(t/h)	72	72	70	70	85	70
非调补汽压力/MPa(a)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
补汽温度/℃	220	220	220	220	220	220
补汽流量/(t/h)	9	9	9	9	15	9
排汽压力/MPa(a)	0.005	0.008	0.005	0.01	0.01	0.01
热耗(kJ/kWh)	11728	11941	11726	12149	12272	12149
主蒸汽汽耗(kJ/kWh)	3.395	3.487	3.391	3.56	3.553	3.56
非调补汽汽耗(kJ/kWh)	6.17	6.573	6.164	6.844	6.832	6.844
功率/kW	22667	22019	22101	20980	26116	20980

型号:C25-5.68/1.0

额定功率:25 MW

额定转速:3000 r/min

额定进汽压力:5.68(5.876~5.386) MPa(a)

额定进汽温度:525(510~535) ℃

主蒸汽流量:72(额定),85(最大) t/h

额定补汽压力:0.6 MPa(a)

补汽流量:9(额定),15(最大) t/h

额定排汽压力:0.008 MPa(a)

4.2 凝汽器及旁通主要热力参数

燃机 40 min 后,余热锅炉开始产汽,由于汽机结构、强度等原因造成燃机与汽机启动不同步,在冷

态时更是如此(见图2图3),需要汽轮机热力系统能够带有旁路系统将多余的蒸汽凝结以减少外排污染和浪费,同时达到快速暖管目的。

暖管结束,通过旁通控制蒸汽压力达到 2.0 MPa,汽轮机启动,由于汽轮机启动时汽耗量较小(10 t/h),余热锅炉产生的蒸汽除少部分进入汽轮机冲转外,其余部分经旁路系统进入凝汽器凝结再循环。

旁路系统一般在汽机主汽门前接管,目的是尽量暖管至主汽门前,然后通过一道主闸阀,调节阀和一级减温减压后再通入凝汽器,由于一级减温减压之后蒸汽参数仍然较高, (下转第 41 页)

表2 1#机组汽耗对比表

年份(1月份)	冷风量/(10 ³ m ³)	平均送风压力/kPa	耗汽/t	冷风汽耗/(t/万 m ³)
2009年(30天)	132549	323.1	32859	2.502
2010年(30天)	137384	327.2	32175	2.517
2011年(12天)	49582	329.1	11596	2.520
2012年(30天)	130078	327.4	31589	2.536
改造前平均	-	-	-	2.518
改造后2013年(30天)	131457	335.3	31008	2.359
汽耗减少	-	-	-	0.159

高达到 350 kPa,冷风耗汽降低了 0.159 t/万 m³;

改造后 2013 年 1# 机组作为主力机组运行,全年按运行 10 个月计算,年冷风量:

$$3000\text{m}^3/\text{min} \times 60 \times 24 \times 30 \times 10 = 129600 \text{ 万 m}^3$$

年节约蒸汽量:

$$129600 \text{ 万 m}^3 \times 0.159 \text{ t/万 m}^3 = 20606.4 \text{ t}$$

年节约生产成本:

$$20606.4 \text{ t} \times 3.6588 \times 35 = 2638814.37 \text{ 元}$$

通过 2013 年 1 月份全月运行情况看,1# 机组防

喘系统控制程序升级改造后运行稳定,达到了预期的改造效果,标志着防喘系统控制程序升级改造在莱钢的首次成功应用,同时 2013 年全年预计节约生产成本 263 万余元,为莱钢节能降耗打下了良好的基础,并为下一步其他机组防喘控制程序升级改造提供了良好的借鉴。

收稿日期:2014-12-30

作者简介:段伦俊(1981-),男,2005年毕业于青岛大学热能与动力工程专业,本科学历,工程师,现从事热动技术工作。

(上接第 38 页) 为此在设计冷凝器时在其喉部设计一个二级减温减压装置,将一减温减压的蒸汽再次减压减温后排入冷凝器。

旁路系统维持汽轮机做到了滑参数启停,并使得整个联合循环启动时间大大缩短,同时考虑了联合循环运行时,汽机故障短时间停机时,不停燃机和余热锅炉,蒸汽经旁通排入凝汽器,以减少燃机停机次数。

联合循环汽机用凝汽器的冷却面积要根据汽机旁路的设计容量确定,常规旁通及凝汽器按照 100%考虑。

4.2.1 凝汽器热力参数

冷凝面积:2800 m²

进入凝汽器蒸汽量:100 t/h

主蒸汽进汽量:85 t/h 补汽进汽量:15 t/h

传给冷却水的净热负荷:68574.63 kJ/s

冷却倍率:66

冷却水量:6600 t/h

4.2.2 高压主蒸汽旁通系统设备

一级旁通装置入口蒸汽压力: 6.1 MPa(A)

一级旁通装置入口蒸汽温度:520 ℃

一级旁通装置出口蒸汽压力:0.4 MPa(A)

一级旁通装置出口蒸汽温度:152 ℃

二级旁通装置入口蒸汽压力:0.4 MPa(A)

二级旁通装置入口蒸汽温度:152 ℃

二级旁通装置出口蒸汽压力:0.04 MPa(A)

二级旁通装置出口蒸汽温度:75.9 ℃

4.2.3 低压补汽旁通系统设备

旁通装置入口蒸汽压力:1.2 MPa(A)

旁通装置入口蒸汽温度:214 ℃

旁通装置出口蒸汽压力:0.04 MPa(A)

旁通装置出口蒸汽温度:75.9 ℃

5 结束语

通过对 M251S 联合循环发电热力系统优化,从实际运行情况看联合循环发电出力冬夏季能够安全连续稳定在 50 MW 工况下运行,收到了很好的经济效益,希望对其他钢铁企业有借鉴意义。

收稿日期:2015-02-03

作者简介:崔合群(1968-),男,大学本科学历,高级工程师,现从事燃机生产技术工作。