

干熄焦电站热力系统能量平衡分析

孙秀苗* 李心宇

华泰永创(北京)科技股份有限公司 北京 100176

摘要: 本文针对迁安中化煤化工有限责任公司干熄焦电站, 利用其设计工况以及现场采集的运行工况进行热平衡和焓平衡计算, 分析系统中各主要设备和热力过程的热力学完善性, 找出能量利用的薄弱环节, 最大限度降低系统总焓损, 为干熄焦余热电站的优化运行提供较为科学的依据。

关键词: 干熄焦电站 热力系统 焓平衡 热平衡 节能分析

1. 引言

干法熄焦是相对于湿法熄焦而言采用惰性气体熄灭赤热焦炭的一种熄焦方法。干熄焦工艺由于具有能够回收利用红焦的显热、改善焦炭质量、减轻熄焦操作对环境的污染等多项优点而被国内外炼焦行业推广使用。因此如何有效地利用干熄焦技术为企业带来节能、环保等效益就成为了钢铁联合企业研究的重要课题。

本文以迁安中化煤化工有限责任公司干熄焦电站为例, 在热平衡计算基础上对热力系统进行焓平衡计算, 对结果进行对比分析并提出热力系统完善方法。力求最大限度地降低热力系统总焓损。

2. 干熄焦电站基本情况

2.1 电站概况

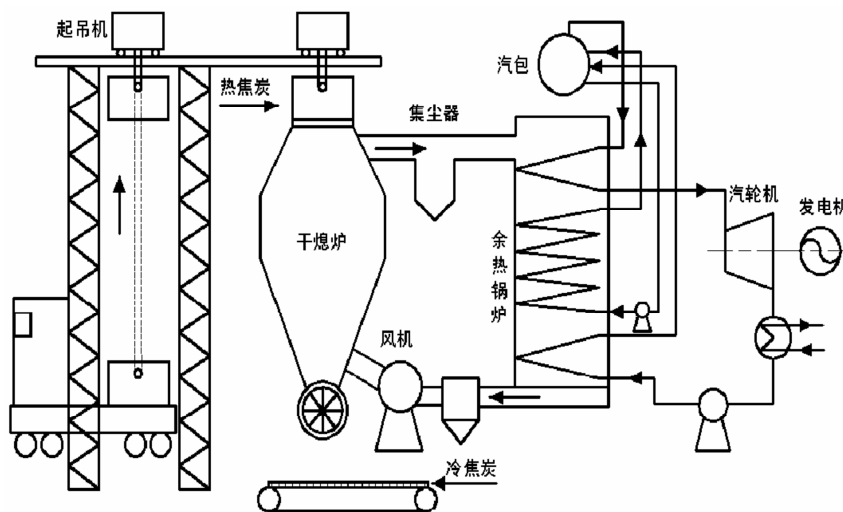


图1-1

图1-1为迁安中化干熄焦电站工作原理图。迁安中化煤化工有限责任公司成立于2005年, 是开滦能源化工股份有限公司、河北省首钢迁安钢铁有限公司与迁安市政府合作发展的重点煤化工项目。公司采用先进的干法熄焦技术, 现拥有3套设计处理能力为140t/h的干熄焦装置及发电系统, 3台15MW凝汽式汽轮发电机组, 年发电量为21600万kW·h。

2.2 主要热工参数

干熄焦电站的主辅设备都是在设计工况的基础上进行设计制造和调试运行, 并以设计工况为基准进行各个设备以及整个电站的运行状态评价。实际运行时, 电站的运行工况往往偏离设计工况, 对其特性分析是电站优化运行的

*作者简介: 孙秀苗, 1989年6月9日生, 女, 汉族, 江苏无锡人, 中级工程师职称, 本科学历, 研究方向: 热力相关, 主要从事: 干熄焦项目的热力设计工作, 邮箱: 1052202662@qq.com

基础,即研究负荷与运行条件变化时系统特性的变化规律以及最佳的控制方案。迁安中化干熄焦电站主要热工参数见表 1-1。

表1-1迁安中化干熄焦电站主要热工参数

名称	设计工况	运行工况		
		1	2	3
排焦量(t/h)	140	121.4	123.8	128.8
红焦温度(°C)	1050	1000	1000	1000
排焦温度(°C)	200	130	108	145
循环气体流量(Nm ³ /h)	199000	175500	171910	176545
空气导入量(Nm ³ /h)	17600	11818	10307	11230
干熄炉进口气体温度/°C	130	126	148	126
干熄炉出口气体温度/°C	—	993	944	946
余热锅炉进口气体温度/°C	970	931	956	941
余热锅炉出口气体温度/°C	170	174	187	170
前置省煤器进口气体温度/°C	180	168	180	160
前置省煤器出口气体温度/°C	130	126	148	126
给水量(t/h)	84.9	73	78	79.5
连排量(t/h)	1.7	3	5.7	3.5
汽包压力/Mpa	5.88	5.43	5.47	5.09
主蒸汽流量(t/h)	83.2	71.5	72.4	76.3
主蒸汽压力/Mpa	5.3	5.3	5.3	4.9
主蒸汽温度/°C	450	450	450	450
发电功率/MW	15	11.8	12.5	12.1

3. 迁安中化干熄焦电站的热力学分析

3.1 能量平衡计算

迁安中化干熄焦电站干熄炉的设计焦炭处理能力是 140t/h,以表 1-1 中电站的设计工况为计算基础,对其进行热平衡计算。其他的相应参数选取如下:干熄炉的散热损失取 2%,焦炭烧损率取 1.5%,余热锅炉排污率取 2%,余热锅炉保热系数取 0.98,给水压力取汽包压力的 1.2 倍,主蒸汽管道温降取 15°C,

主蒸汽管道压降取 5%。干熄焦系统惰性循环气体成分见表 1-2,通过公式(2-6)计算余热锅炉入口、出口及干熄炉入口循环气体的平均比热容,结果见表 1-3。

表1-2

成分	CO ₂	CO	H ₂ O	H ₂	O ₂	N ₂
%	11.8	1.85	13.9	1.65	0	70.8

表1-3

名称	比热容/ kJ/(kg·K)
余热锅炉入口气体	1.2224
余热锅炉出口气体	1.1008
干熄炉入口气体	1.1025

干熄焦系统中焦炭的主要成分见表 1-4,通过公式计算出干熄炉进出口焦炭的平均比热容。干熄炉入口焦炭比热容为 1.5384 kJ/(kg·K),干熄炉出口焦炭比热容为 0.9983 kJ/(kg·K)。

表1-4

成分	固定碳	灰分	挥发分
%	86.8	12	1.2

根据热力计算模型,对迁安中化干熄焦电站进行热力计算,计算结果见表 1-5。

表1-5

名称	温度 °C	压力 kPa	焓 kJ/kg	流量 (t/h) / (Nm ³ /h)	热量 GJ/h
大气环境	20	101.3	83.95	—	—
红焦	1050	—	2035.53	140	284.97
排焦	200	—	472.35	140	66.13
焦炭烧损	—	—	—	2.18	71.17
干熄炉入口气体	130	105.8	444.31	199000	110.80
余热锅炉入口气体	970	100.6	1519.44	199000	378.90
余热锅炉出口气体	170	99.7	487.65	199000	121.60
主蒸汽	450	5300	3312.6	83.2	275.61
汽轮机进汽	435	5035	3280.6	83.2	272.95
汽轮机排汽	45	9	2582.3	83.2	214.85
前置省煤器进口水	20	850	84.08	78.8	6.63
除氧器进口水	62	300	259.16	78.8	20.42
除氧器进口蒸汽	180	800	2792.1	5.7	15.92
排污	275	5880	1207.1	1.7	2.05
主给水	104	7056	440.58	84.9	37.41
前置省煤器入口水	180	108.3	503.01	199000	125.43

干熄焦电站系统的输入与输出热量见表 1-6。

表1-6

名称	热量/(GJ/h)
焦炭冷却放出的热量 Q_1	218.85
焦炭烧损放出的热量 Q_2	65.53
惰性循环气体吸收的热量 Q_3	268.1
吸入空气和漏损循环气体的热量损失 Q_4	6.58
干熄炉的散热损失 Q_5	7.59
锅炉侧蒸汽吸收的热量 Q_6	240.26
锅炉的散热损失 Q_7	7.13

4. 焓平衡计算

热平衡法是以系统能量平衡概念的热力学第一定律为基础,其特点是不同质的能量在数量上的平衡,由于它仅考虑能的数量,而忽略能的品质,所以无法揭示系统内部存在的能量“质”的贬值和损耗;而基于热力学第二定律的焓分析法考虑了过程的不可逆性,即因过程的熵增而造成的不可逆损失,发生能的贬值变质,深刻揭示了能量损耗的本质,使人们得以从“质”和“量”相结合的角度去科学评价能量的利用过程。相比于热平衡法,焓分析法更科学、更深入也更全面,它在揭露能量损失的原因、部位以及改进方向等方面发挥独特的作用,为系统能量利用效率的提高指明了方向。

根据计算公式,得出热力系统中各状态点焓值,计算结果见表 1-7。

表1-7

名称	温度 °C	压力 kPa	焓 kJ/(kg·K)	流量 (t/h) / (Nm ³ /h)	焓 GJ/h
大气环境	20	101.3	0.3	—	—
红焦	1050	—	—	140	126.71
排焦	200	—	—	140	5.55
焦炭烧损	—	—	—	2.18	71.17
干熄炉入口气体	130	105.8	—	199000	4.56
余热锅炉入口气体	970	100.6	—	199000	160.51
余热锅炉出口气体	170	99.7	—	199000	7.98
主蒸汽	450	5300	6.7892	83.2	110.43
汽轮机进汽	435	5035	6.7668	83.2	108.32
汽轮机排汽	45	9	8.1925	83.2	15.46
前置省煤器进口水	20	850	0.2942	78.8	0.14
除氧器进口水	62	300	0.8543	78.8	1.01
除氧器进口蒸汽	180	800	6.77146	5.7	4.63
排污	275	5880	3.0157	1.7	0.56
主给水	104	7056	1.3449	84.9	4.29
前置省煤器进口气体	180	108.3	—	199000	8.95

5. 对比分析

干熄焦电站热力系统各个设备和热力过程的焓损可通过输入焓与输出焓相减可得,计算结果见图 1-2。

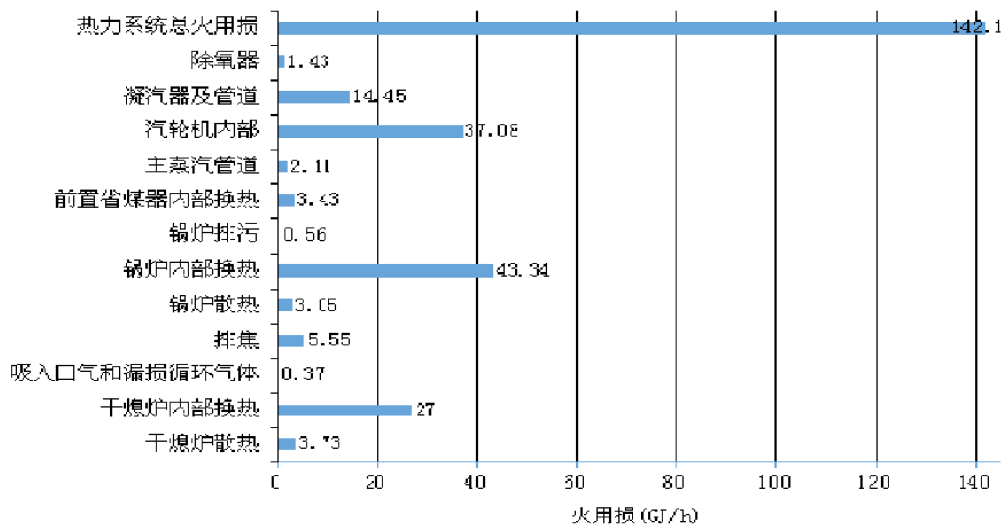


图1-2

根据表 1-5~1-7 和图 1-2,对于干熄焦电站热力系统分别进行热平衡和焓平衡计算,计算结果见表 1-8 和图 1-3,对比分析计算结果,可得到以下结论:

表1-8

名称	数值/(GJ/h)		相对百分比/%	
	热平衡法	焓平衡法	热平衡法	焓平衡法
焦炭带入干熄炉的总热量	356.14	—	1	—
焦炭带入干熄炉的总焓值	—	197.88	—	1
循环气体带入余热锅炉总热量	257.3	—	72.25%	—
循环气体带入余热锅炉总焓值	—	152.53	—	77.08%
损失	—	—	—	—
干熄炉散热	7.59	3.73	2.13%	1.88%
干熄炉内部换热	—	27	—	13.64%
吸入空气和漏损循环气体	6.58	0.37	1.85%	0.19%
排焦	66.13	5.55	18.57%	2.80%
锅炉散热	7.13	3.05	2.00%	1.54%
锅炉内部换热	—	43.34	—	21.90%
锅炉排污	2.05	0.56	0.58%	0.28%
前置省煤器内部换热	—	3.43	—	1.73%
主蒸汽管道	2.66	2.11	0.75%	1.07%
汽轮机内部	—	37.08	—	18.74%
凝汽器及管道	208.22	14.45	58.47%	7.30%
除氧器	—	1.43	—	0.72%
总损失	300.36	142.1	84.34%	71.81%
汽轮机输出功	55.78	55.78	15.66%	28.19%

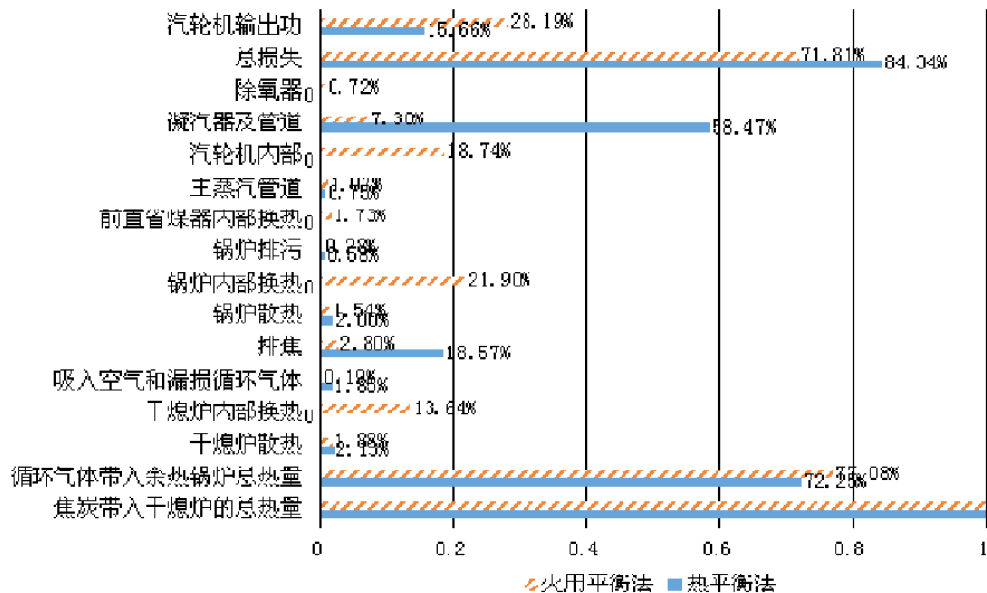


图1-3

表 1-9

名称	设计工况	#1 运行工况	#2 运行工况	#3 运行工况
排焦/t/h	140	121.4	123.8	128.8
红焦热量/GJ/h	284.97	234.28	238.91	248.56
排焦热量/GJ/h	66.13	44.86	42.04	50.31
风焦比/Nm ³ /t	1421	1253	1388	1370
焦炭烧损热量/GJ/h	71.17	59.55	60.72	63.18
干熄炉入口气体热量/GJ/h	110.80	96.69	100.25	97.26
余热锅炉入口气体热量/GJ/h	378.90	322.24	323.13	327.23
余热锅炉出口气体热量/GJ/h	122.49	109.07	110.14	108.67
余热锅炉的有效利用热/GJ/h	240.26	203.29	211.91	220.85
汽轮机内功率/MW	14.5	12.2	13.0	12.8
干熄炉热效率/%	75.28%	76.76%	74.38%	73.77%
余热锅炉热效率/%	63.41%	63.09%	65.58%	67.49%
系统热效率/%	47.73%	48.42%	48.77%	44.25%
余热利用率/%	14.68%	14.97%	15.67%	14.81%

(1) 在干熄焦余热发电系统中,以惰性循环气体作为中间载热体回收红热焦炭

显热,红热焦炭带入干熄炉的总热量值与总焓值相差 158.26 GJ/h,循环气体带入余热锅炉的总热量与总焓值相差 104.77GJ/h,这主要是由余热源的品位决定的,通常温度越低,热源的焓值越小,差值越大。在电站运行时通过调节风焦比,调整循环气体流量,控制余热锅炉进口气体温度,以提高循环气体进入余热锅炉时所携带的能量品位;当然,循环气体温度的升高也会造成排焦温度的升高,使热量的损失增大,因此需要确定合理的风焦比;

(2) 热平衡法中损失较大的有排焦热损失 18.57%,冷凝器及管道热损失占58.47%,而焓平衡法中排焦焓损失仅占 2.8%,冷凝器及管道焓损失仅占 7.3%;而焓损较大的是干熄炉内部换热焓损 13.64%、锅炉内部换热焓损 21.90%、汽轮机内部焓损失 18.74%。虽然排焦、冷凝器及管道损失的热量数量很大,但由于其温度低,品位也低,做功能力也差,所以其焓损并不高;使大量的焓退化为火而无失去做功能力的,不是冷凝器,而是干熄炉和锅炉内部的传热过程以及汽轮机内部的做功过程,而且也正是这两种不可逆过程引起的不可逆损失,才使其焓损失较大,同时也大大增加了通过冷凝器所排放的废热数量,一旦锅炉内部和汽轮机内部的不可逆环节有所改善,冷凝器排放的废热也将随之减小;另一方面,干熄焦电站的蒸汽参数低,也是造成汽轮机内部焓损较大的一个原因。

6. 结论

对迁安中化干熄焦电站的运行工况进行热平衡计算,并与设计工况进行对比,

结果见表 1-9。分析表 1-9 中的数据可知,实际运行时的汽轮机内功率比设计工况下的要小很多,主要原因是实际运行时,焦炭处理量小时,循环气体带入余热锅炉的热量也少,锅炉产生的蒸汽量也随之减小,最终造成汽轮机的内功率较低;总体来说,干熄焦过程的余热利用率还是很低;干熄焦电站运行时,干熄炉热效率可达到为 75%左右,余热锅炉热效率可达 65%左右,而整个干熄焦系统的热效率却不足50%,余热利用率更低,仅有 15%,降低干熄焦过程的能量损失,提高余热利用率,干熄焦电站的经济效益将会更加可观。

参考文献:

- [1]杨政林.干熄焦余热发电系统分析与运行优化研究[D].华北电力大学,2015.
- [2]张尉然,赵斌,何芳,马玉芹,崔健.干熄焦电站热力系统能量平衡分析[J].节能,2010,29(09):41-44.