

干熄焦余热锅炉一次过热器超温原因分析

郁鸿凌,刘峰,杜艳艳,张德莉,葛卫东

(上海理工大学 能源与动力工程学院,上海 200093)

摘要:针对高温高压干熄焦余热锅炉中一次过热器出口气温偏高的问题,从锅炉循环烟气存在再燃因素等方面,对余热锅炉一次过热器传热系数进行分析。结果表明,运行时的传热系数比设计值高 13% 左右,在受热面积不变的情况下,造成了一次过热器出口气温过高。

关键词:干熄焦锅炉;再燃;过热器;传热系数

中图分类号:TK229.92⁺9

文献标识码:A

文章编号:1006-6772(2010)03-0061-03

干熄焦(coke dry quenching)技术是相对于传统湿法熄焦而言的,它是利用惰性气体循环气流将红焦中的显热带入余热锅炉并产生蒸汽,其优点是余热利用率高达 80%,并且能改善焦炭的质量,同时消除了湿法熄焦过程中产生的有毒气体和粉尘对环境的污染,有利于环保和节能^[1]。

柳州钢铁公司的年产焦炭 110 万 t 干熄焦装置于 2007 年 11 月竣工投产,熄焦能力为 150 t/h 的干熄焦余热回收系统采用高温、高压自然循环余热锅炉(蒸汽压力为 9.5 MPa,温度为 540 ℃),设计产蒸汽量为 86.0 t/h,过热蒸汽主要用于发电。

现场运行数据表明,该锅炉一次过热器出口气温偏高,比设计值高出约 60 ℃,从而导致一次过热器出口处管壁温度偏高,增大了锅炉过热器爆管的危险性,影响到锅炉安全运行。利用工程热力学方法对锅炉运行实测数据进行综合分析,从锅炉设计方面提出了改进措施,对今后干熄焦余热锅炉设计具有一定的指导意义。

1 锅炉概况

干熄焦余热锅炉为烟道式余热锅炉,其烟气系统流程如下:吸收了红焦显热的循环烟气从干熄炉冷却室出来,经一次除尘器除去粗颗粒焦粉后由水平烟道进入锅炉,然后转变流向进入竖直烟道,在

竖直烟道内烟气先后流经二次过热器,一次过热器,光管蒸发器,鳍片管蒸发器,省煤器,在竖直烟道四周布置有膜式水冷壁,烟道中间布置有 2 排悬吊管。其具体受热面布置如图 1 所示。

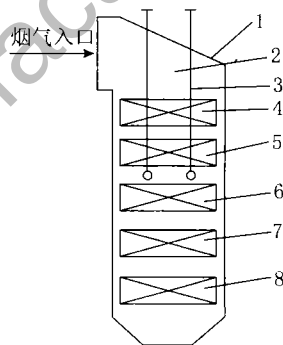


图1 受热面布置

1—水冷壁;2—转向室;3—悬吊管;4—二次过热器;

5—一次过热器;6—光管蒸发器;7—鳍片管蒸发器;8—省煤器

干熄焦系统投运以来,由于焦炭生产需要,焦炭产量未达到满负荷,因此,干熄焦余热锅炉的实际运行负荷约为 60% (即熄焦量为 90 t/h),现场运行数据见表 1。

从表 1 实际运行参数中可以看出,一次过热器出口温度明显偏高,甚至高于锅炉满负荷运行下的一次过热器出口温度,余热锅炉的入口烟气温度比

收稿日期:2010-03-15

基金项目:国家 863 高科技研究发展计划资助项目(2006AA05Z219);上海市科学技术委员会重点攻关项目(071605127);江苏省科技成果转化专项资金项目(BA2007056)

作者简介:郁鸿凌(1953—),上海人,高级工程师,主要从事余热锅炉方面的研究。

表1 干熄焦余热锅炉实际运行基本参数

名称	设计负荷 (100%)	工况1	工况2	工况3	工况4	工况5
主蒸汽流量/(t·h ⁻¹)	86.3	52.4	55.3	56.5	54.3	57
额定蒸汽压力/MPa	9.5	9.51	9.5	9.5	9.5	9.48
额定蒸汽温度/℃	540	536.3	536.5	535.9	532.3	533
二次过热器进口 蒸汽温度/℃	386	402.4	396.9	394.8	394.2	394.8
一次过热器出口 蒸汽温度/℃	433	488.8	490.4	492.1	491	492.1
给水温度/℃	104	104.9	105.1	104.9	104.9	104.9
喷水减温量/(t·h ⁻¹)	4.5	5	6.3	6.2	5.5	5.6
锅炉入口烟气 温度/℃	960	881	888.7	896.7	897.1	898.6
排烟温度/℃	178	171	170.2	169.5	169.8	169.5
循环烟气量 (m ³ ·h ⁻¹)	214000	149028	150590	150174	148819	149375

设计值要低。通过对锅炉循环烟气的成分分析,发现循环气体中可燃成分占总烟气量的比重比设计值要高,其中CO含量为设计值的13倍,H₂含量为设计值的10倍。各工况下循环气体成分见表2。

表2 循环烟气气体成分

气体成分	设计值	工况1	工况2	工况3	工况4	工况5
N ₂	73.4	66.28	66.4	66.17	66.33	66.12
CO ₂	14	14.16	14.38	14.43	14.36	14.51
H ₂ O	12	12	12.01	12	12.03	12
CO	0.4	5.44	5.1	5.3	5.17	5.27
H ₂	0.2	2.08	2.08	2.07	2.08	2.07
O ₂	0	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03

2 原因分析

2.1 再燃因素

余热锅炉循环气体主要成分是N₂,但是在炼焦和熄焦过程中循环气体内不可避免含有H₂、CO等可燃成分。当循环气体中的H₂、CO等可燃成分达到一定的浓度,与空气中的O₂混合会形成爆炸性气体,遇明火或高温就有可能爆炸。因此,在干熄焦工艺流程中H₂、CO等可燃成分浓度必须得到严格的控制。在目前运行的干熄焦装置中,控制循环气体中可燃成分含量主要有2种方法^[1],一种是导入N₂法,即连续向气体循环系统内供入一定量的N₂,并连续放散掉一部分循环气体。二是导入空气法,即根据循环气体中可燃成分含量,往干熄炉环形烟道中导入一定量的空气,依靠空气中的O₂使高温循环气体中的H₂、CO等可燃成分燃烧,以此降低循环

气体中可燃成分的浓度。相比较而言,导入空气法更经济便利。实验中锅炉就采用了导入空气法,并实现了在线监控,循环气体通过干熄炉内红焦层后,约需导入10040 m³的空气量来燃掉循环气体中可燃成分。按照干熄焦工艺要求,红焦所需的循环气体流量为1300~1350 m³/t^[1],实验中锅炉实际运行熄焦量为90 t/h,即理论所需循环气体流量为117000~121500 m³/h。由于循环气体中H₂、CO浓度较高,因此从外界导入环形烟道内的空气量也较大,使得实际运行的循环风量达到约150000 m³/h,导入空气的温度较低,这也使得锅炉入口的循环气体温度较设计值低。

导入的空气与循环气体中H₂、CO反应生成CO₂和H₂O等三原子气体,通过对锅炉入口转向室的烟气观测,发现循环烟气呈红热状态,表明该处烟气存在燃烧。因此,循环烟气实际辐射能力比设计时要强。烟气中有辐射能力的主要成分是CO₂、H₂O等三原子气体和各种悬浮的固体粒子。影响烟气辐射放热系数的主要因素有烟气黑度和烟气温度,而烟气黑度与三原子气体辐射减弱系数、固体颗粒减弱系数和辐射层厚度有关。由于进入锅炉的循环烟气存在再燃,使得烟气中的三原子气体含量远远大于设计值,其气体辐射减弱系数比设计值低,烟气黑度比设计值高,烟气辐射放热系数比设计值大。

目前关于对流受热面的辐射放热系数的计算公式采用苏联73版《热力计算标准方法》^[2],对含灰气流(考虑灰粒的辐射)的辐射放热系数计算公式为:

$$\alpha_{fs} = 4.9 \times 10^{-8} \frac{a_3 + 1}{2} a T^3 \frac{1 - \left(\frac{T_3}{T}\right)^4}{1 - \frac{T_3}{T}} \quad (1)$$

式中, a_3 为辐射受热面已污染的管壁黑度; a 为烟气温度 T 下的烟气黑度; T 为烟气的平均绝对温度,K; T_3 为受热面已污染表面的绝对温度,K。

对一次过热器而言,烟气对管壁的放热系数主要包括辐射放热系数和对流放热系数,其计算公式为:

$$\alpha_1 = \xi(\alpha_{fs} + \alpha_{dl}) \quad (2)$$

式中, ξ 为利用冲刷不均匀系数; α_{fs} 、 α_{dl} 为辐射放热系数和对流放热系数。

过热器的传热系数由烟气侧的换热系数和工质侧的换热系数共同决定,其计算公式为:

$$K = \frac{\psi \alpha_1}{1 + \alpha_1 / \alpha_2} \quad (3)$$

式中, ψ 为热有效系数; α_1 、 α_2 为烟气对管壁的放热

系数和工质对管壁的放热系数。

根据式(1)~式(3)计算出的一次过热器传热系数在不同烟气温度条件下随三原子气体容积份额变化的关系曲线如图2所示。

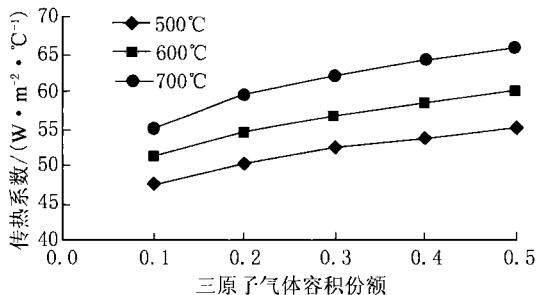


图2 传热系数变化曲线

从图2中看出,三原子气体容积份额对总的传热系数 K 有一定的影响,气体容积份额越大,烟气平均温度越高,其传热系数越大,根据现场实际运行的5组工况数据,计算出的实际传热系数见表3。

表3 不同运行参数下的传热系数

名称	设计值 (60%负荷)	工况1	工况2	工况3	工况4	工况5
$K/(W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1})$	53.08	60.35	62.27	63.4	59.69	60.56

实际运行时的传热系数要比设计时的传热系数大13%左右,因此在换热面积不变的条件下,一次过热器出口温度将偏高,实际上二次过热器也存在上述问题,但二次过热器气温可通过一过出口后的喷水减温器调节,增大喷水减温量,控制二次过热器的气温,从实际运行的数据中也可以看出,其实际喷水量为该负荷下设计值的2倍左右。

2.2 换热面积的计算

关于对流受热面换热面积的计算,文献[3]给

出的计算公式为:

$$H = \frac{Q \cdot B}{\beta K \Delta t} \quad (4)$$

式中, Q 为对流受热面吸热量, J/m^3 ; K 为传热系数; Δt 为传热温压; B 为烟气流量, m^3/s ; β 为修正系数。

这里涉及到一个修正系数 β ,实际运行锅炉中,经常发生锅炉过热器超温,导致此类情况发生的原因很多,诸多锅炉厂根据长期设计生产经验常将某些锅炉的过热器面积在理论计算的基础上减少20%~25%,经过调整后,达到额定过热器的温度,这是值得借鉴的,综合上述各种因素,引入修正系数 β 。对于干熄焦余热锅炉的设计,循环烟气中存在二次燃烧,故笔者认为也可根据实际情况,适当减小过热器受热面积。

3 结论

由于干熄焦余热锅炉循环烟气不可避免存在再燃现象,其总的传热系数约比设计值大13%,因此应适当减小过热器受热面积,防止受热面超温爆管,确保高温高压干熄焦余热锅炉能够安全可靠运行,同时对今后类似干熄焦余热锅炉的设计也要相应考虑其再燃因素。

参考文献:

- [1] 潘立慧,魏松波.干熄焦技术[M].北京:冶金工业出版社,2005.
- [2] 前苏联热工研究所.锅炉机组热力计算标准方法[M].北京:机械工业出版社,1973.
- [3] 《工业锅炉设计计算标准方法》委员会.工业锅炉设计计算标准方法[M].北京:中国标准出版社,2003.

Over temperature of primary super heater in CDQ waste-heat boiler

YU Hong-ling, LIU Feng, DU Yan-yan, ZHANG De-li, GE Wei-dong

(College of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Concerning over temperature of primary super heater, the heat transfer coefficient of primary super heater was analyzed from the aspects of reburning of circulatory gas. The results show that the heat transfer coefficient in practice is 13% more than in design. It lead to over temperature of primary super heater when heating surfaces remain unchanged.

Key words: coke dry quenching boiler; reburning; primary super heater; heat transfer coefficient