

ASME PTC 4-2013 与 GB 10184-88 的主要差异 及各因素对热效率的影响分析

项群扬, 姚 凯, 杨 威, 黄华俊, 胡 卿

(浙江浙能技术研究院有限公司, 杭州 311121)

摘 要: 由于锅炉性能试验规程 ASME PTC 4-2013 与 GB 10184-88 有较大差异, 从适用范围、性能试验程序、相关概念的定义、测量方法、热效率计算方法及修正方法等方面对这两个规程进行对比, 分析两者主要差异。并以某 660 MW 燃煤机组依据 ASME 规程的热效率测试结果为例, 分析空预器进出口的烟气成分和温度、进风温度、环境条件、煤质、灰渣等参数对锅炉热效率的影响程度, 以帮助理解和分析锅炉热损失的原因。

关键词: 锅炉; 性能试验; ASME PTC 4; 热效率

Differences between ASME PTC 4-2013 and GB 10184-88 and Analysis of Major Effects on Thermal Efficiency

XIANG Qunyang, YAO Kai, YANG Wei, HUANG Huajun, HU Qing

(Zhejiang Energy Group R&D Co., Ltd., Hangzhou 311121, China)

Abstract: The differences in application range, performance test procedures, concept definition, measurement methods, thermal efficiency calculation methods and corrections between the boiler performance test codes ASME PTC 4-2013 and GB 10184-88 are compared and analyzed in this paper. Besides, the effect degree of flue gas components and temperature of air preheater inlet and outlet, intake air temperature, environmental conditions, coal quality and slag on boiler thermal efficiency is analyzed based on the performance test of a 660 MW coal-fired unit in compliance with ASME code. This work would be helpful to understand and analyze reasons of thermal losses of boiler.

Key words: boiler; performance test; ASME PTC 4; thermal efficiency

0 引言

锅炉热效率是衡量电站锅炉经济性的一项重要指标, 通过锅炉性能试验进行热效率计算的准确性将直接影响锅炉经济性的评估。目前国际上通常采用美国 ASME 的规程作为锅炉性能试验的依据, 国内机组性能试验主要参考 ASME 规程和国标电站性能试验规程。

ASME PTC 4-2013^[1]是 ASME 锅炉性能试验规程的最新版本, 与我国现行电站锅炉性能试验规程 GB 10184-88^[2]有较大的差异, 主要体现在适用范围、性能试验程序、相关参数的定义、测量方法、热效率计算方法及修正方法等方面。以下针对两者之间的主要差异进行比对, 可为锅炉性能试验提供参考。

依据 ASME PTC 4-2013, 在锅炉性能试验中需要测量的参数包括: 空预器进出口的烟气成分和温度、进风温度、环境条件、煤质、灰渣等。各参数的测量结果对热效率都有不同程度的影响。以某 660 MW 燃煤机组性能试验结果为例, 依据 ASME PTC 4-2013 对各项测量结果对热效率的影响程度进行了分析, 以帮助理解和分析锅炉热损失的原因。

1 ASME PTC 4-2013 与 GB 10184-88 的主要差异

1.1 适用范围

GB 10184-88 主要适用于电站锅炉, 要求蒸发量大于 35 t/h, 蒸汽出口压力高于 2.45 MPa 或蒸汽出口温度超过 400 °C, 对于工业锅炉的性能

试验需要参考 GB/T 10180《工业锅炉热工性能试验规程》。

ASME PTC 4-2013 只规定了燃料的种类,即燃煤、燃油、燃气锅炉及其他碳氢化合物,同时适用于电站和工业的蒸汽锅炉。

1.2 性能试验程序

ASME PTC 4-2013 对试验前机组稳定时间、运行参数波动范围、测量仪表、固体燃料温度、灰渣取样方法及时间和网格的划分、工况作废条件、参数测量频率等方面均作了详细的规定,与 GB 10184-88 有一定的区别。

1.3 相关参数的定义和测量方法

1.3.1 系统边界的定义

ASME PTC 4-2013 规定的烟气出口边界为空预器出口截面;空气进口边界为空预器进入截面。GB 10184-88 习惯把送风机和一次风机划分在锅炉边界内,以送风机入口作为空气侧的入口。

1.3.2 物理量的单位

ASME PTC 4-2013 采用英制单位,并给出了国际单位表达的公式和换算关系;GB 10184-88 中采用国际单位。

1.3.3 基准温度

ASME PTC 4-2013 规定性能计算的基准温度为 25℃,与基准温度有关的计算具体反映在焓值计算中,空气、烟气、蒸汽、灰渣、燃料等的焓值均需要根据 ASME PTC 4-2013 规定的方法进行计算,基准温度时焓值为 0。

GB 10184-88 未有与 ASME 标准相对应的基准温度概念,其基准温度定义为送风机入口的进风温度,但该基准温度并不用于焓值的计算。

由于两个规程对基准温度定义不同,计算与基准温度有关的热损失与外来热量时,计算方法与结果均有所不同。例如对于干烟气热损失,ASME PTC 4-2013 直接根据排烟温度计算干烟气焓,即相当于排烟温度下的干烟气焓与基准温度干烟气焓之差;而空气在基准温度与进风温度之间的焓值差则被认为是外来热量。

1.3.4 锅炉效率的定义

ASME PTC 4-2013 定义的锅炉输入热量为燃料释放的所有能量,因此定义的锅炉效率为燃料效率。GB 10184 定义的输入热量除了燃料燃烧输入的热量外,还包括外来热量,其定义的热效

率更接近于 ASME 标准中的毛效率。

1.3.5 发热量基准

在 ASME PTC 4-2013 中均采用恒压下燃料燃烧的高位发热量。由于对于固体和液体燃料高位发热量的测定,一般由氧弹量热计在恒容条件下进行;并修正到恒压条件下的高位发热量。

GB 10184-88 采用燃料低位发热量,并给出不同种类燃料分析需要参考的标准。如对于煤的发热量测定,在 GB/T 213-2008《煤的发热量测定方法》中给出了恒容低位发热量和恒压低位发热量的测定和计算方法。

1.3.6 过量空气系数的定义

ASME PTC 4-2013 定义的过量空气率为实际送入的空气量减去理论所需空气量除以理论空气量再乘以 100。GB 10184-88 定义的过量空气系数为实际使用空气量占理论空气量的比例。

1.3.7 焓值计算方法

ASME PTC 4-2013 给出了水、水蒸气、干烟气、灰渣及燃料的焓值计算方法,即应用 5 阶的 JANAF/NASA 焓温关联式和系数计算得到。ASME PTC 4-2013 中对于热损失和外来热量通过组分在进出口截面的焓值差计算。

GB 10184-88 未采用焓值的概念,对于干烟气的热损失、水蒸气热损失、灰渣物理显热损失等项通过平均定压比热容来计算得到。

1.3.8 烟气比热容的计算方法

ASME PTC 4-2013 中湿烟气的平均比热容需要通过迭代计算。因湿烟气平均比热容与无漏风修正后的排烟温度相关,需假定 1 个初始的湿烟气平均比热容,以计算无漏风修正的排烟温度,再根据湿烟气焓值计算湿烟气平均比热容;通常通过 2~3 次迭代。

GB 10184-88 中烟气比热容通过烟气各组分的平均定压比热容加权平均计算。各烟气组分的平均定压比热容可通过查表或公式计算得到。

1.3.9 不确定度

ASME PTC 4-2013 不确定度计算的主要参考依据是 ASME PTC19.1《试验不确定度》。GB 10184-88 中未提出不确定度概念,而用误差分析来评价测量结果的质量高低。

1.3.10 灰渣分析方法

ASME PTC 4-2013 灰渣可燃物分析中以游

离碳作为未燃尽碳,因而不允许采用烧失法,主要考虑灰渣中的碳酸盐在高温下会分解产生 CO_2 。GB 10184-88规定可以采用烧失法测量灰渣中的未燃尽碳。

1.3.11 锅炉本体散热损失测定方法

ASME PTC 4-2013要求对锅炉的辐射及对流散热损失进行实际测量,需要在足够多的位置测定锅炉表面温度、环境温度和环境空气流速等参数。GB 10184-88中,锅炉本体的散热损失通过可以通过查表计算得到。

1.4 热效率计算

1.4.1 外来热量的定义

在ASME PTC 4-2013中,以基准温度计算各项热损失和外来热量,因此需要考虑的外来热量项比GB 10184-88多。两者主要差异在于ASME PTC 4-2013中规定的进入系统干空气携带的外来热量和空气中水分携带的外来热量项作为外来热量考虑,而GB 10184-88直接在热损失中考虑。

1.4.2 输入热量定义

由于对锅炉效率定义的不同,ASME PTC 4-2013规定的输入热量即燃料的输入热量;GB 10184-88规定的输入热量包括燃料输入热量和外来热量。

1.4.3 热损失项定义

GB 10184-88定义的热损失项为5项,ASME PTC 4-2013对于热损失项的规定更加细致和详细,定义了16大项热损失,主要增加的热损失项包括:灰渣未燃尽氢损失、因高温烟气净化设备造成的损失、因锅炉出口至空预器入口段漏风引起的损失、生成 NO_x 引起的损失、炉内脱硫引起的损失、灰渣池热损失、由于再循环物质流所造成的热损失、锅炉汽水管道外的冷却水造成的损失、内部热源加热暖风器的损失。

1.4.4 无漏风修正

ASME PTC 4-2013规定,与排烟损失有关的干烟气量取为省煤器出口处的烟气量,而排烟温度则采用无漏风修正后的空气预热器出口烟温,即把实测的空预器出口烟气温度修正到完全没有漏风的状态。因此,干烟气热损失和相应的烟气水分热损失均按无漏风修正后的空气预热器出口烟温计算。

GB 10184-88定义的干烟气热损失和烟气中

水分热损失直接由实际测量的排烟温度与实际烟气流计算。

1.5 热效率修正方法

锅炉热效率的修正即将试验结果修正到设计燃料条件和设计工况下。ASME PTC 4-2013和GB 10184-88均规定需要对实测锅炉效率进行修正,但两者的修正方法有较大差异。

1.5.1 GB 10184-88热效率修正方法

在GB 10184-88中,热效率修正主要包括输入热量的修正、热损失的修正和燃料特性变化的修正。

输入热量的修正包括用设计的进风温度替代外来热量计算公式中的试验进风温度。

热损失的修正主要是对排烟温度的修正,从进风温度和给水温度两方面修正。通过实测进风温度与设计进风温度以及实测给水温度与设计给水温度来修正排烟温度。

燃料特性的修正即当试验所用燃料超出约定的变化范围,在计算排烟热损失过程中用燃料中各组分及低位发热量的设计值替代试验值。

1.5.2 ASME PTC 4-2013热效率修正方法

ASME PTC 4-2013对于能量平衡法和输入输出法均提出了热效率的修正方法。对于输入输出法,GB 10184-88没有相应的修正方法;ASME PTC 4-2013提出可从空气与烟气阻力、蒸汽或水的压力损失、蒸汽温度和减温水量等方面修正。

对于能量平衡法,ASME PTC 4-2013的热效率修正内容主要包括进风温度、排烟温度,此外该规程也提到了燃料、脱硫反应、灰渣、过量空气率、其他进入系统物质流、表面辐射和对流散热损失等项目的修正方法。

ASME PTC 4-2013规定的进风温度修正与GB 10184-88规定的输入热量修正类似,即用设计的进风温度替代实测值,以完成对外来热量的修正。另外,ASME PTC 4-2013并未给出明确的燃料修正方法,当燃料偏离设计值时,试验各方需协商确定修正方法。

ASME PTC 4-2013规定排烟温度的修正包括:

(1)考虑进风温度的修正。此项修正GB 10184-88中也有体现,但修正公式有一定差异。

(2)考虑空预器进口烟温的修正。ASME PTC 4-2013认为如果空气预热器进口烟温偏离设计

值,应该进行修正。GB 10184-88 标准中没有此项修正,而是修正了给水温度;给水温度偏离设计值后,直接影响省煤器换热以及炉膛内换热,但最终还是通过烟气温度和烟气量表现出来。因此空预器进口烟温修正和给水温度修正本质上是一致的。

(3)空预器进口烟气流量偏差修正。当空气预热器进口烟气流量偏离设计值将影响排烟温度,需要进行修正。

(4)空预器热容比修正。

(5)磨煤机调温风量的修正。

2 各项测量参数变化对热效率的影响

ASME PTC 4-2013 推荐用能量平衡法来进行性能试验,即根据各项损失和外来热量计算锅炉热效率。各项热损失和外来热量需要依据对空预器进出口的烟气成分和温度、进风温度、环境条件、煤质分析、灰渣成分分析的测试结果计算。这些因素对于热效率的影响程度不同,以无炉内脱硫的某 660 MW 燃煤机组热效率测试结果作为基准,分析不同因素变化对于热效率的影响程度。

2.1 实际测试结果

锅炉热效率测试依据 ASME PTC 4-2013 进行,对于灰渣比例、散热损失和较小的热损失项(不可计量热损失)采用协商值,忽略燃料带入的显热,假定各截面烟气流量均匀。试验的煤质分析如表 1 所示,主要测试结果如表 2 所示。

表 1 煤质分析结果

项目	煤样	项目	煤样
全水分/%	14.50	收到基氧/%	8.94
灰分/%	9.98	收到基氮/%	0.86
挥发分/%	28.25	收到基全硫/%	0.44
收到基碳/%	61.62	低位发热量/(MJ·kg ⁻¹)	23.67
收到基氢/%	3.66		

2.2 不同参数变化对热效率的影响

锅炉热效率由各项热损失和外来热量计算确定。对热效率影响较大的因素包括:干烟气热损失、氢生成水引起的损失、燃料水分引起的损失、空气中水分引起的损失、未燃可燃物引起的损失、进入系统干空气携带的外来热量和空气中水分携带的外来热量。这些热损失和外来热量主

表 2 主要测试结果

项目	试验结果	
环境温度/°C	28.03	
当地大气压/Pa	100 000	
空气相对湿度/%	70.3	
空预器进口平均风温/°C	31.8	
空预器进口烟温/°C	346.5	
排烟温度/°C	123.7	
空预器进口 O ₂ 含量/%	2.48	
空预器出口 O ₂ 含量/%	4.33	
空预器进口 CO 含量/(mg·L ⁻¹)	735	
飞灰含碳量/%	1.92	
炉渣含碳量/%	5.35	
散热损失协商值/%	0.17	
不可计量热损失协商值/%	0.30	
送风机进口风温设计值/°C	20	
空预器进口烟温设计值/°C	366	
锅炉效率/%	实测	94.39
	修正后	93.97

要由以下参数确定:空预器进口氧量、空预器出口氧量、烟气 CO 含量、空预器进口烟温、空预器出口烟温、空预器进口风温、环境温度、大气压、环境湿度、燃料成分、灰渣成分、灰渣比例等。不同的参数对于热效率的影响程度不同,表 3 列举了在基准工况下,单独变化某一参数对各项损失/外来热量和锅炉热效率的影响程度。

空预器进口氧量主要影响实际烟气量,从而影响干烟气热损失、烟气中水分损失和烟气中可燃物损失,对修正后的锅炉效率影响较小。在本试验基础上,若空预器入口氧量增加 1%,修正后的锅炉效率降低 0.018%。

空预器出口氧量的变化主要影响系统的漏风率,从而影响无漏风修正后的排烟温度,对修正后的效率影响较大。在本试验基础上,若空预器出口氧量增加 1%,修正后锅炉效率降低 0.27%。

排烟温度的变化主要影响干烟气热损失和相应的水分热损失,对修正后的锅炉影响效率非常大。在本试验基础上,若排烟温度增加 10 °C,修正后锅炉效率降低 0.54%。

空预器进口烟温的变化对于实测锅炉效率没有影响,但会影响空预器进口烟温修正后的排烟温度,从而影响修正后的锅炉效率。在本试验基础上,若空预器进口烟温增加 10 °C,修正后锅炉效率提高 0.16%。

表3 各因素的变化对锅炉效率的影响

项目	基准 工况	空预器前 氧量+1%	空预器后 氧量+1%	排烟温度+ 10℃	空预器前 烟温+10℃	CO含量 +500 mg/L	灰渣含 碳量+1%	空气中水蒸气 分压+1 000 Pa	环境温 度+10℃
干烟气热损失	4.28	4.31	4.50	4.72	4.28	4.28	4.27	4.27	4.23
氢生成水热损失	0.28	0.27	0.29	0.31	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
燃料中水分热损失	0.12	0.12	0.13	0.14	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
空气中水分的热损失	0.13	0.13	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.18	0.23
烟气未燃可燃物损失	0.27	0.28	0.27	0.27	0.27	0.45	0.27	0.27	0.27
灰渣未燃可燃物损失	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.48	0.33	0.33
进入系统干空气外来热量	0.22	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.57
进入系统水分外来热量	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
修正后干烟气热损失	4.37	4.38	4.61	4.85	4.23	4.37	4.36	4.36	4.01
修正后氢生成水的热损失	0.29	0.28	0.31	0.32	0.28	0.29	0.29	0.29	0.27
修正后燃料水分热损失	0.13	0.12	0.13	0.14	0.12	0.13	0.13	0.13	0.12
修正后空气中水分热损失	0.14	0.14	0.14	0.15	0.13	0.14	0.14	0.19	0.23
修正后干空气外来热量	-0.043	-0.043	-0.043	-0.043	-0.043	-0.043	-0.043	-0.043	-0.043
实测锅炉效率	94.39	94.37	94.14	93.90	94.39	94.21	94.25	94.35	94.76
修正后锅炉效率	93.97	93.96	93.70	93.43	94.13	93.79	93.83	93.92	94.30

烟气 CO 浓度和灰渣可燃物含量会影响未燃可燃物的热损失,并同等程度的影响实测锅炉效率和修正后的锅炉效率。此外,烟气未燃可燃物损失还与炉膛出口氧量有关,灰渣未燃可燃物损失也与燃料中的灰分含量有关。在本试验基础上,烟气中的 CO 含量增加 500 mg/L,修正后锅炉效率降低 0.18%;灰渣可燃物含量增加 1%,修正后锅炉效率降低 0.14%。

变化空气中的水蒸气分压会影响空气中水分热损失和进入系统水分外来热量,从而影响修正后的热效率。在本试验基础上,空气中的水蒸气分压增加 1 000 Pa,修正后锅炉效率降低 0.05%。

变化环境温度(进风温度)主要改变修正后的排烟温度,同时也会改变空气中的水分含量,对修正后的干烟气热损失和空气中水分热损失有较大影响,从而影响修正后的锅炉效率。在本试验基础上,环境温度提高 10℃,修正后锅炉效率提高 0.33%。

需要说明的是,在实际运行过程中,理想的单独改变某一参数的情况是不存在的,一个参数的变化必然会导致其他参数随之改变。分析各参数变化对于热效率影响程度分析可以有效的帮助理解和分析锅炉热损失的原因,以便及时改进和提高锅炉效率;同时也方便对同一台机组不同时间段热效率测试结果的纵向对比和不同机组之间

的横向对比。

3 结语

从适用范围、性能试验程序、相关参数的定义和测量方法、热效率计算及修正项等方面对电站锅炉性能试验规程 ASME PTC 4-2013 和 GB 10184-88 之间的差异性进行比较和讨论,可为锅炉性能试验提供参考。

同时,以无炉内脱硫过程的某 660 MW 燃煤机组热效率测试结果为例,分析变化空预器进出口的烟气成分和温度、进风温度、环境条件、煤质、灰渣等参数对锅炉热效率的影响程度,以帮助理解和分析锅炉热损失的原因;其中空预器出口氧量、排烟温度、空预器进口烟温、未燃可燃物和进风温度的变化对热效率的影响程度较大。

参考文献:

- [1] 美国机械工程师协会.Fired steam generators performance test code ASME PTC 4-2013[S].2014.
- [2] 中华人民共和国机械电子工业部.GB 10184-88 电站锅炉性能试验规程[S].北京:中国电力出版社,1988.
- [3] 阎维平,云曦.ASME PTC 4-1998 锅炉性能试验规程的主要特点[J].动力工程,2007,27(2):174-178.
- [4] HUGH JIN,P E.A study of coal-fired steam generator efficiencies[C]//Proceedings of ASME 2011 power conference. 2011.

[5] HUGH JIN,P E.Determination of fuel input for a coal fired plant performance test[C]//Proceedings of the ASME 2009 power conference.2009.

[6] 栾忠兴,王艳红.ASME PTC 4-1998 标准基于燃料高位和低位发热量计算结果之间的关系分析[J].东北电力大学学报,2012,32(2):58-63.

[7] 王祝成,施延洲.GB 10184-88 标准中排烟温度修正方法的改进探讨[J].锅炉技术,2011,42(5):56-59.

[8] 吕太,于海洋.GB 10184-88 和 ASME PTC 4 1 标准对不同容量锅炉效率计算的对比分析[J].东北电力大学学报,2014,34(2):7-10.

[9] 黄伟,李文军,熊蔚立.GB 10184-88 和 ASME PTC 4 1 标准锅炉热效率计算方法分析[J].湖南电力,2005,25(1):12-15

[10] 赵振宁,张清峰.锅炉性能试验标准的不同体系及主要异同[J].电站系统工程,2011,27(5):16-21.

[11] 高建强,陈元金,袁宏伟,等.660 MW 机组超超临界锅炉运行中 NO_x 调整试验分析[J].浙江电力,2008,27(4):35-39.

[12] 金志民,宋玉彩.动力煤中水分和灰分对锅炉运行经济性影响比较[J].浙江电力,2012,31(6):31-33.

[13] 吕洪炳,华晓宇,徐爱民,等.火电机组锅炉掺烧长焰煤对机组运行影响的研究[J].浙江电力,2017,36(2):47-52.

[14] 张国光,姜英.锅炉各种热损失对锅炉效率的影响程度分析[J].煤质技术,2009(4):46-49.

[15] 李勇,王艳红,张炳文.基于不同标准的锅炉热效率及发电标准煤耗率修正方法[J].动力工程学报,2012,32(4):273-281.

收稿日期: 2017-9-22

作者简介: 项群扬(1989), 男, 工程师, 从事锅炉燃烧和节能优化研究。

(本文编辑: 陆 莹)



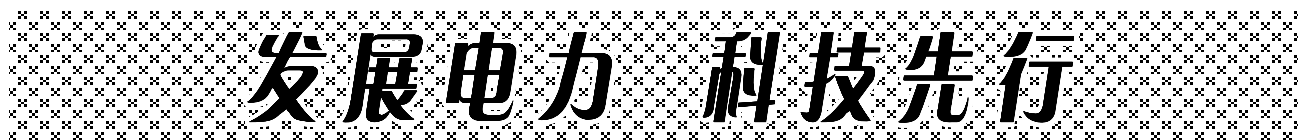
·书讯·



浙江電力科技圖書公司
欢迎访问网上书店 www.zjbooks.com

电网员工现场作业安全管控 安全风险管控(微信平台)	18.00	10 kV 及以下配网工程监理工作手册	40.00
电网员工现场作业安全管控 二次设备检修	28.00	高效预应力混凝土空心板桥研究与实践	48.00
电网员工现场作业安全管控 低压配电线路不停电作业	18.00	500 kV 地下输变电工程数字化设计	58.00
电网员工现场作业安全管控 架空电力线路检修	25.00	输电线路材料监造指南	90.00
超导磁储能系统(SMES)及其在电力系统中的应用	88.00	供电系统设施管理技术、方法及应用(第二版)	85.00
电力大数据技术及其应用	88.00	电力设备智能化远程监测诊断系统	49.00
中国电力行业人才年度发展报告 2017	198.00	变电运维检修技术问答	98.00
智能配电网自愈控制	45.00	发电厂热工故障分析处理与预控措施(2016年专辑)	60.00
瓷支柱绝缘子及瓷套超声波检测(第二版)	48.00	超(超)临界锅炉水动力特性——试验研究与理论计算	106.00
大型企业运营分析体系建设与实践——大数据时代运营管理解决之道	60.00	火力发电企业应急处置卡	36.00

地址: 杭州市体育场路 538 号 邮 编: 310007 传 真: 0571-85116959 85117939
 电话: 0571-85119095 85118853 系统电话: 955122552 955122642 联系人: 祝爱清



发展电力 科技先行