

1 000 MW 机组供电煤耗反平衡计算 影响因素分析

张研

(陕西国华锦界能源有限责任公司,陕西 榆林 719000)

摘要:某电厂1 000 MW超超临界机组生产报表系统中反平衡供电煤耗与正平衡供电煤耗相比,数值波动大,不符合公司正反平衡供电煤耗差值小于2%的要求。为了查找原因,应用热平衡对机组性能计算,定量分析影响反平衡供电煤耗计算的因素,得出参数测量误差、不明泄漏量、给水泵密封水流量等对供电煤耗的影响,改进了实时热耗率计算公式,提高供电煤耗反平衡计算的准确性。

关键词:超超临界机组;反平衡;供电煤耗;热力计算

中图分类号:TM 621

文献标志码:B

文章编号:1674-1951(2017)10-0032-03

0 引言

供电煤耗是火电企业重要的经济指标,供电煤耗的日常计算统计结果不仅直接反映企业的精准管理水平,同时对掌握机组运行状况、指导机组进一步的优化运行、提高电厂经济效益有重要作用。目前,各厂采用“正平衡考核,反平衡校核”的原则核算机组发、供电煤耗^[1]。实际统计中,反平衡计算可以具体到各能量分配和损失,便于能耗诊断,但其计算复杂,结果受压力/温度参数、异常工况、流量测量值等因素的影响,准确性较低。在反平衡的计算中,很多企业均大量使用了修正曲线、历史数据拟合曲线、经验公式,使得反平衡供电煤耗值失去了真正的意义。本文从供电煤耗计算方法入手,分析反平衡供电煤耗计算影响因素,指导电厂供电煤耗统计工作。

1 反平衡计算

火电厂供电煤耗率按下式计算

$$b_g = \frac{HR}{29.271\eta_p\eta_b(1-L_c)},$$

式中: b_g 为供电煤耗率, $g/(kW \cdot h)$; HR 为供电热耗率, $kJ/(kW \cdot h)$; η_p 为管道效率,%; η_b 为锅炉效率,%; L_c 为直接厂用电率,%; 29.271为标准煤低位发热量, MJ/kg 。

采用GB 10184—1988《电站锅炉性能试验规程》^[2],热损失法锅炉热效率按下式计算:

$$\eta_b = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6),$$

式中: q_2 为排烟热损失,%; q_3 为可燃气体未完全燃烧热损失,%; q_4 为固体未完全燃烧热损失,%; q_5 为

锅炉散热损失,%; q_6 为灰渣物理热损失,%。

在火电厂供电煤耗率计算中热耗率为热耗量与发电机机端功率的比值,如下式:

$$HR = \frac{Q_{HR}}{P_g}.$$

其中一次再热机组热耗量计算如下:

$Q_{HR} = G_{zq}h_{zq} + G_{rz}h_{rz} - G_{gs}h_{gs} - G_{lz}h_{lz} - G_{gj}h_{gj} - G_{zj}h_{zj}$,
式中: G_{zq} 为主蒸汽流量, t/h ; h_{zq} 为主蒸汽比焓, kJ/kg ; G_{rz} 为再热蒸汽流量, t/h ; h_{rz} 为再热蒸汽比焓, kJ/kg ; G_{gs} 为给水流量, t/h ; h_{gs} 为给水比焓, kJ/kg ; G_{lz} 为冷再蒸汽流量, t/h ; h_{lz} 为冷再蒸汽比焓, kJ/kg ; G_{gj} 为过热减温水流量, t/h ; h_{gj} 为过热减温水比焓, kJ/kg ; G_{zj} 为再热减温水流量, t/h ; h_{zj} 为再热减温水比焓, kJ/kg 。

2 管道效率

根据DL/T 606.3—2014《火力发电厂能量平衡导则 第3部分:热平衡》管道反平衡热效率为:

$$\eta_p = 1 - \sum \frac{Q_i}{Q_b}.$$

即百分之百的管道效率去除各项损失 Q_i 所占锅炉输出总热量 Q_b 的百分比。其中各项损失 Q_i 包括主要管道散热损失、辅助蒸汽损失、排污损失、工质泄漏损失。

在供电煤耗反平衡计算中,由于辅汽损失、排污损失、工质泄漏损失均可以划入汽机岛热耗率计算中,管道效率采用狭义的定义,只包括主管道散热损失,由于管道采用保温等措施一般在99%左右,计算时可认为是不变量。

3 影响反平衡计算因素

某电厂汽轮机是上海汽轮机有限公司设计制造

的超超临界、一次中间再热、四缸四排汽、单轴、双背压、九级回热抽汽、反动凝汽式汽轮机机组,型号为 N1013-28/600/620,锅炉为东方锅炉厂制造的超超临界参数变压直流炉、平衡通风、露天布置、固态排渣、II 型锅炉,过热减温水引自省煤器出口,汽轮机热耗率验收工况(THA)下,设计供电煤耗为 275.01 g/(kW·h),选取机组夏季实际满负荷工况,进行热力性能计算,计算结果见表 1。下文中对影响因素定量计算均以此工况为基准。

表 1 1000 MW 机组供电煤耗计算表

参数名称	运行值
负荷/MW	1000.81
主汽门前温度/℃	597.12
再热汽门前温度/℃	612.00
高排温度/℃	354.20
中排温度/℃	288.86
主汽压/MPa	27.10
再热汽压/MPa	5.59
中排压力/MPa	0.58
背压/MPa	7.70
凝结水量/(t·h ⁻¹)	2120.75
补水量/(t·h ⁻¹)	12.80
不明漏量/(t·h ⁻¹)	17.30
锅炉排烟温度/℃	126.70
氧量/%	3.37
飞灰含碳量/%	0.31
大渣含碳量/%	0.24
计算热耗率/[kJ·(kW·h) ⁻¹]	7469.34
计算锅炉效率/%	94.97
直接厂用电率/%	4.00
管道效率/%	99.00
计算供电煤耗/[g·(kW·h) ⁻¹]	282.71

3.1 机组不明泄漏量

汽轮机热力性能验收试验规程热耗的计算公式中^[3],主蒸汽流量计算较准确的是使用凝结水量,通过加热器能量平衡和质量平衡迭代计算出给水量,给水流量加上过热减温水量、减去不明泄漏分配至锅炉的量,若减温水取自省煤器入口管道或是省煤器出口,过热减温水量不需要考虑。系统不明泄漏量为系统储水量变化量与系统明漏量之差。性能试验过程中,不明泄漏量分配由试验单位和电厂技术人员根据现场泄漏情况决定,因为锅炉侧不明泄漏量直接关系主蒸汽流量的计算,对热耗影响较大。如图 1 所示,上述 1000 MW 机组汽机计算热耗率随锅炉分配不明泄漏量的比例增加而线性降低。锅炉分配比例每增加 10%,汽机热耗减少约 0.096%。

供电煤耗中汽机岛热耗率计算和热力性能考核

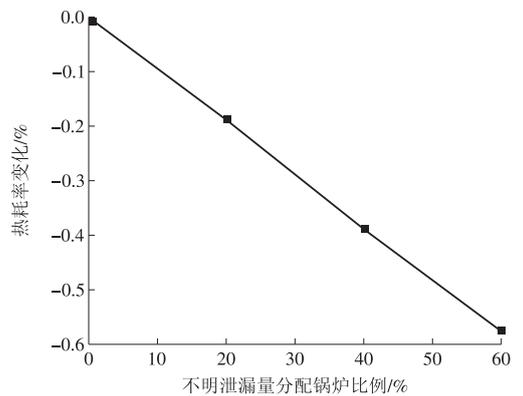


图 1 不明泄漏量分配对汽机热耗的影响

试验的计算不能完全相同,原因如下。

(1) 汽机热耗试验是衡量汽机本体做功能力的,它需要把系统中影响汽机经济性的非汽机因素抛除,所以需要明确不明漏量的分配,需要隔离系统,需要进行参数修正。而在供电煤耗计算中,系统不隔离,低温省煤器、机组补水、辅助蒸汽等因素均引起吸热量的改变。

(2) 不能遵照汽轮机热耗试验原则分配不明漏量,原因是汽机岛热耗的计算关键在于吸热量的计算,锅炉侧的不明漏量,如锅炉吹灰蒸汽实际中消耗了热量,但这部分能量不会影响锅炉效率值,也没有计入汽机热耗里,在用狭义管道效率计算煤耗时,这部分能量损失被忽略,导致计算结果偏小。

3.2 给水泵密封水流量

在 1000 MW 机组中给水泵密封水一般取自凝结水系统,在热平衡计算中,通过高加的给水流量等于除氧器出水量减去给水泵抽头流量加上给水泵密封水流量,大部分机组给水泵密封水流量没有测量点。在以凝结水流量为基准的供电煤耗反平衡计算中给水泵密封水流量一般被忽略,实际对煤耗影响很大。如图 2 所示,给水泵密封水每增加 1 t/h,供电煤耗增加约 0.12 g/(kW·h)。

3.3 参数测量误差

参数测量误差影响热耗率和锅炉效率的计算,从而影响到供电煤耗反平衡计算结果,下表为参数测量误差率为 1% 时,对供电煤耗计算结果的影响。由表可见给水流量的测量误差为 1% 时对供电煤耗影响最大,达到 4.277 g/(kW·h),凝结水流量测量误差影响为 2.837 g/(kW·h),大容量汽轮机集散控制系统(DCS)计算主蒸汽流量是根据调节级后压力等测量参数经过换算求得的,但由于机组通流部分状况改变、负荷变动等原因的影响,DCS 系统计算的主蒸汽流量存在较大偏差,所以在计算中尽量选择凝结水流量为基准,在机组热力试验中校准凝结

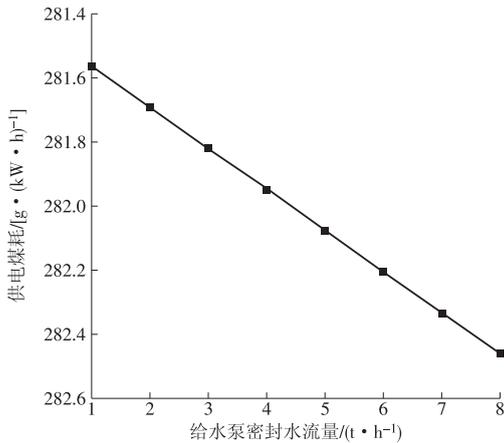


图 2 密封流量对供电煤耗计算的影响

水流量测量值,有偏差时及时修正。主蒸汽温度、再热蒸汽温度、高压缸排汽温度、锅炉排烟温度对供电煤耗的计算值影响较大。飞灰、大渣含碳量的测量误差对供电煤耗计算影响很小,见表 2。

表 2 参数测量误差对供电煤耗计算值影响

影响因素	测量误差率/%	供电煤耗影响量/[g·(kW·h) ⁻¹]
主汽温度	1	1.900
再热汽温度	1	1.230
高排温度	1	0.878
再热减温水量	1	0.034
排烟温度	1	0.191
大渣含碳量	1	0
凝结水流量	1	2.837
主汽压	1	0.293
再热汽压	1	0.061
高排压力	1	0.105
补水流量	1	0.026
飞灰含碳量	1	0.003
氧量	1	0.021
给水流量	1	4.277

4 计算方法改进

随着技术的进步和汽轮机设计的优化,目前的 1 000 MW 机组过热蒸汽均取自省煤器入口或出口,所以热耗量的计算中不需要考虑过热减温水部分,同时很多机组均使用低温省煤器,即部分凝结水通过锅炉尾部烟道吸热后送回凝结水系统,所以工质在锅炉的吸热不仅包括过热系统和再热系统,也应该包括低温省煤器系统,同时正常运行中补水量较大,补水带来的能量也不容忽略^[4],所以热耗量计算公式应为:

$$Q_{HR} = G_{zq}h_{zq} + G_{rz}h_{rz} - G_{gs}h_{gs} - G_{lz}h_{lz} - G_{zj}h_{zj} + G_{bs}h_{bs} + G_{dw}(h_{din} - h_{dout}),$$

式中: G_{bs} 为补水流量,t/h; h_{bs} 为补水比焓,kJ/kg; h_{din}

为低省进水比焓,kJ/kg; G_{dw} 为低省进水流量,t/h; h_{dout} 为低省出水比焓,kJ/kg。

在此机组反平衡煤耗计算中,主蒸汽流量等于给水流量,即使部分流量由锅炉侧外漏,其也参与过热系统吸热,不需要减去不明漏量。冷再流量计算需要考虑不明漏量,两种计算方法公式见表 3,计算结果表明按常规计算公式中不明漏量对结果影响大,而新方法计算结果变化范围小,符合实际情况。式中: G_{zi} 为高压门杆漏汽、高压缸轴封漏量; G_{c1} 为一段抽汽量; G_{c2} 为二段抽汽量; G_{fq} 为冷再供辅助蒸汽量; k_1 为锅炉不明漏量分配系数; k_2 为高压不明漏量分配系数。根据锅炉吹灰和高压管道阀门内漏情况分配, G_{lou} 为不明漏量。

表 3 改进计算方法对比

项目	原计算公式	新计算公式
主汽流量/(t·h ⁻¹)	$G_{zq} = G_{gs} - k_1 G_{lou}$	$G_{zq} = G_{gs}$
冷再流量/(t·h ⁻¹)	$G_{lz} = G_{zq} - G_{zi} - G_{c1} - G_{c2} - G_{fq}$	$G_{lz} = G_{zq} - G_{zi} - G_{c1} - G_{c2} - G_{fq} - k_2 G_{lou}$
k_1/k_2 变化范围	0 ~ 1	0 ~ 1
计算供电煤耗值范围/[g·(kW·h) ⁻¹]	282.67 ~ 277.16	282.67 ~ 281.82

5 结束语

(1)影响反平衡供电煤耗的因素中,参数测量误差对计算统计结果影响大,运行中加强机组主要测点准确度的核查工作有助于提高反平衡计算的准确性。

(2)反平衡供电煤耗计算中,电厂习惯采用性能试验时热耗率计算公式。实际中低温省煤器、给水泵密封水、补水量的影响不容忽略。

(3)随着大型机组严密性治理和漏点检测技术的进步,机组正常运行热耗率计算公式中不明漏量分配至再热系统中更为合理。

参考文献:

- [1]火力发电厂技术经济指标计算方法:DL/T 904—2015[S].
- [2]电站锅炉性能试验规程:GB 10184—1988[S].
- [3]汽轮机热力性能验收试验规程:GB/T 8117.2—2008[S].
- [4]李勇,曹丽华.汽轮机热经济性诊断技术及应用[M].北京:科学出版社,2012.

(本文责编:齐琳)

作者简介:

张研(1983—),男,陕西榆林人,工程师,主要从事发电机组运行与节能方面的工作(E-mail:16143142@shenhua.cc)。