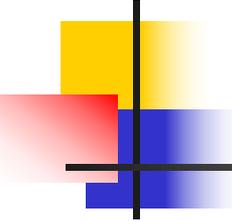


135MW循环流化床机组 经济性分析

东北电力科学研究院有限公司
锅炉技术研究所

冷 杰

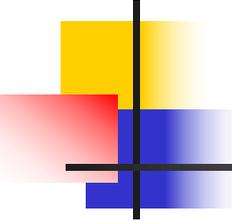
2009年10月



主要内容

- **1 供电煤耗计算**
- **2 耗差分析原理**
- **3 实例计算分析**
- **4 锅炉热效率计算**
- **5 管道热效率计算**
- **6 汽轮机热耗率计算**
- **7 经济效益分析**



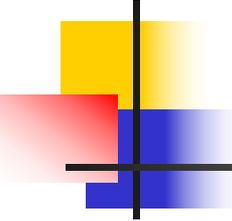


0 概述

- (一) 供电煤耗水平

2008年，全国发电生产耗用原煤量13.40亿t，全国平均供电煤耗为349g/kWh，2007年356g/kWh，1997~2008年，从408 g/kWh下降到349g/kWh，每年平均供电煤耗为5.36g/kWh。





0 概述

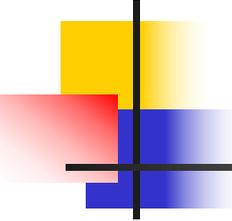
- (二) 厂用电率

2008年全国火力发电厂用电率为6.84%。

- (三) 环保性、可靠性、经济性

机组在满足环保和安全要求的前提下，才能考虑提高机组经济性。



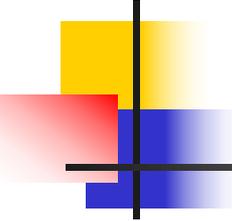


0 概述

■ (四) 煤

发、供电煤耗率应按照实际入炉煤量和入炉煤机械取样分析的收到基低位发热量（加权平均值）正平衡计算。当以入厂煤和煤场盘煤计算的煤耗率和以入炉煤计算的煤耗率偏差达到1%时，查找原因。煤耗率应定期采用反平衡法校核，当正平衡与反平衡计算的煤耗率差值达到1.0%时，应查明原因，制订改进措施。

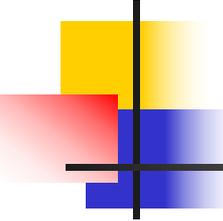




0 概述

- 入厂煤燃料检斤率和燃料检质率应为100%，并且，入厂煤与入炉煤的热量差不大于502kJ/kg。
- 煤在煤场储存时有一定数量的损失，煤场存损率不应大于0.5%，也可根据具体情况实际测量煤场存损率。
- 混配煤的价格更应该加权平均计算。

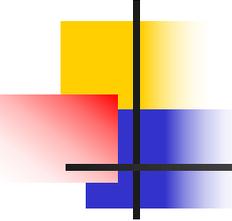




0 概述

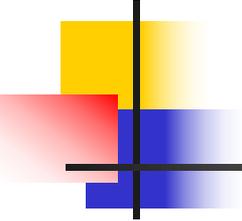
- 入厂煤与入炉煤热量差是指入厂煤收到基低位发热量（加权平均值）与入炉煤收到基低位发热量（加权平均值）之差。计算入厂煤与入炉煤热量差应考虑燃料收到基外在水分变化的影响，并修正到同一外在水分的状态下进行计算。





1 供电煤耗计算

- 供电煤耗主要与汽轮机热耗、锅炉热效率、管道效率和厂用电率等因素有关，计算公式如下：



$$b = \frac{HR_t \times 10^3}{29271.2 \times \eta_{gl} \times \eta_{gd} \times (1 - \varepsilon_{cd})}$$

- 式中： b — 供电煤耗，g/kWh；
- HR_t — 汽轮机热耗率，kJ/kWh；
- η_{gl} — 锅炉热效率，%；
- η_{gd} — 管道热效率，%；
- ε_{cd} — 厂用电率，%。



2 耗差分析原理

- 假定上式中各参数之间相互独立，线性无关，且函数连续可导，则煤耗率的全增量可表示为：

$$\Delta b = \Delta b_{gl} + \Delta b_t + \Delta b_{cd} + \Delta b_{gd}$$

$$\Delta b = \frac{\partial b_{gl}}{\partial \eta_{gl}} \cdot \Delta \eta_{gl} + \frac{\partial b_t}{\partial HT_t} \cdot \Delta HT_t + \frac{\partial b_n}{\partial \varepsilon_{cd}} \cdot \Delta \varepsilon_{cd} + \frac{\partial b_{gd}}{\partial \eta_{gd}} \cdot \Delta \eta_{gd}$$

式中： Δb — 供电煤耗，g/kWh；

Δb_{gl} — 锅炉热效率变化引起供电煤耗的变化量，g/kWh；

Δb_t — 汽轮机热耗率变化引起供电煤耗的变化量，g/kWh；

Δb_{cd} — 厂用电率变化引起供电煤耗的变化量，g/kWh；

Δb_{gd} — 锅炉热效率变化引起供电煤耗的变化量，g/kWh。



2.1 锅炉热效率变化对供电煤耗的影响

$$\Delta b_{gl} = \frac{\partial b_{gl}}{\partial \eta_{gl}} \cdot \Delta \eta_{gl} = \frac{HR_t}{29271.2 \times \eta_{gl} \times \eta_{gd} \times (1 - \varepsilon_{cd})} \cdot \frac{-1}{\eta_{gl}} \cdot \Delta \eta_{gl}$$

- 上式表示供电煤耗变化与锅炉热效率变化的关系，锅炉热效率提高，供电煤耗下降，反之亦然。



2.2 汽轮机热耗变化对供电煤耗的影响

$$\Delta b_t = \frac{\partial b_t}{\partial HT_t} \cdot \Delta HT = \frac{1}{29271.2 \times \eta_{gl} \times \eta_{gd} \times (1 - \varepsilon_{cd})} \cdot \Delta HT$$

- 上式表示供电煤耗变化与汽轮机热耗率成正比线性关系，汽轮机热耗率增加1%，供电煤耗增加1%，反之亦然。



2.3 厂用电率变化对供电煤耗的影响

$$\Delta b_{cd} = \frac{\partial b_{cd}}{\partial \varepsilon_{cd}} \cdot \Delta \varepsilon_{cd} = \frac{1}{29271.2 \times \eta_{gl} \times \eta_{gd} \times (1 - \varepsilon_{cd})} \cdot \frac{1}{(1 - \varepsilon_{cd})} \cdot \Delta \varepsilon_{cd}$$

- 上式表示供电煤耗变化与厂用电率变化的关系，厂用电率提高，供电煤耗下降，反之亦然。

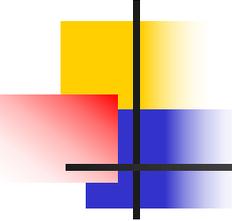


2.4 管道热效率变化对供电煤耗的影响

$$\Delta b_{gd} = \frac{\partial b_{gd}}{\partial \eta_{gd}} \cdot \Delta \eta_{gd} = \frac{HR_t}{29271.2 \times \eta_{gl} \times \eta_{gd} \times (1 - \varepsilon_{cd})} \cdot \frac{-1}{\eta_{gd}} \cdot \Delta \eta_{gd}$$

- 上式表示供电煤耗变化与管道热效率变化的关系，管道热效率提高，供电煤耗下降，反之亦然。





3 实例计算分析

一台**135MW**循环流化床机组在纯凝实际运行状态(热力系统不隔离)共进行了**135MW**、**120MW**、**100MW**、**80MW** 4个负荷下的能耗测定试验,可以得出机组不同负荷下的供电煤耗。保证值**8244.2 kJ/kWh**。如表**1**和表**2**所示。



表1 135MW循环流化床机组纯凝工况不同负荷下的供电煤耗

名称	135MW	120MW	100MW	80MW
锅炉热效率/%	91.74	91.84	91.43	90.47
汽轮机热耗耗 /kJ·kWh ⁻¹	8846.2	8976.3	9118.0	9330.2
厂用电率/%	9.57	9.74	10.53	12.50
管道热效率/%	98	98	98	98
发电煤耗/g·kWh ⁻¹	336.15	340.72	347.75	359.52
供电煤耗/g·kWh ⁻¹	371.72	377.49	388.57	410.88



表2 135MW循环流化床机组纯凝工况不同负荷下的修正后供电煤耗

名称	135MW	120MW	100MW	80MW
修正后锅炉热效率/%	91.60	91.89	91.37	90.34
修正后汽轮机热耗耗 /kJ·kWh ⁻¹	8525.1	8672.0	8845.7	9056.1
修正后厂用电率/%	9.30	9.47	10.28	12.18
管道热效率/%	98	98	98	98
修正后发电煤耗/g·kWh ⁻¹	324.4	329.0	337.5	349.5
修正后供电煤耗/g·kWh ⁻¹	357.7	363.4	376.2	397.9



表3 135MW循环流化床机组纯凝工况不同负荷下的锅炉主要辅机电耗

名称	135MW	120MW	100MW	80MW
1号二次风机功率/kW	852.7	745.9	645.3	602.5
2号二次风机功率/kW	908.1	823.2	670.1	635.9
1号一次风机功率/kW	653.4	668.8	645.2	635.9
2号一次风机功率/kW	686.7	694.5	670.1	669.5
1号引风机功率/kW	819.6	771.7	645.3	602.5
2号引风机功率/kW	1085.7	926.0	819.3	736.4
节电率/%	24.5	16.7	21.2	18.2
1号引风机挡板开度/%	100	100	100	100
2号引风机挡板开度/%	74	50	34	29
主要辅机总电耗量/kW	5006.2	4630.1	4095.3	3882.7
锅炉主要辅机厂用电率/%	3.68	3.79	3.97	4.69



4 锅炉热效率计算

锅炉热效率根据 **GB10184-88** 《电站锅炉性能试验规程》和 **DL/T964—2005** 《循环流化床锅炉性能试验规程》标准，按下式反平衡法计算：

$$\eta = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7)$$

式中： η —锅炉热效率，%

q_2 —排烟热损失百分率，%；

q_3 —可燃气体未完全燃烧热损失百分率，%；

q_4 —固体未完全燃烧热损失百分率，%；

q_5 —锅炉散热损失百分率，%；

q_6 —灰渣物理热损失百分率，%；

q_7 —石灰石脱硫热损失百分率，%。



表4 锅炉设计、校核及试验煤质

名 称	设计煤质	校核煤质	试验煤质1	试验煤质2
收到基碳分 $C_{ar}/\%$	36.02	32.45	34.82	34.72
收到基氢分 $H_{ar}/\%$	2.36	2.37	2.34	2.44
收到基氧分 $O_{ar}/\%$	9.67	10.54	9.61	9.43
收到基氮分 $N_{ar}/\%$	0.58	0.50	0.42	0.53
收到基硫分 $S_{t.ar}/\%$	0.32	0.32	0.36	0.41
收到基灰分 $A_{ar}/\%$	19.05	22.32	20.75	18.97
收到基水分 $M_t/\%$	32.00	31.50	31.70	33.50
干燥无灰基挥发分 $V_{daf}/\%$	49.46	49.03	49.63	48.96
收到基低位发热量 $Q_{net,ar}/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	13230	11710	12502	12118



表5 锅炉热效率计算结果

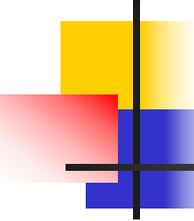
项 目	135MW	120MW	100MW	80MW
飞灰可燃物/%	0.53	0.43	0.58	0.68
预热器出口氧量/%	4.57	5.09	6.01	7.89
预热器出口一氧化碳/%	0	0	0	0
过剩空气系数	1.28	1.32	1.40	1.60
排烟温度/℃	161.4	150.1	146.6	142.5
排烟热损失/%	7.220	7.168	7.299	7.952
可燃气体未完全燃烧热损失/%	0	0	0	0
固体未完全燃烧热损失/%	0.327	0.256	0.351	0.418



续表5 锅炉热效率计算结果

额定蒸发量下的散热损失/%	0.300	0.332	0.402	0.491
灰渣物理热损失/%	0.193	0.173	0.170	0.167
石灰石脱硫热损失/%	0.221	0.234	0.344	0.499
总的热损失/%	8.261	8.163	8.566	9.527
排烟热损失占总热损失比例/%	87.40	87.81	85.21	83.47
实测锅炉效率/%	91.74	91.84	91.43	90.47



- 
- 燃用褐煤的循环流化床锅炉飞灰可燃物含碳量均很低，在**0.5%**左右，而排烟热损失占总的热损失比例达到**80%**以上，提高氧量对降低固体未完全燃烧热损失已经没有作用，所以适当降低氧量可以使排烟热损失降低，既提高了锅炉热效率，同时减少烟风流量，降低了风机出力，也降低了厂用电率。



5 管道热效率计算

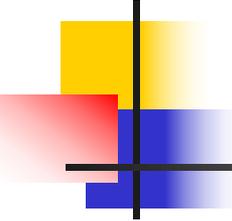
- 具体请参考**DL/T 606.3-2006**《火力发电厂能量平衡导则 第3部分：热平衡》
- 管道热力系的热损失分三大类：一是四大管道散热损失类，如主蒸汽管道热损失，冷、热再热蒸汽管道热损失，以及给水管管道热损失等；二是辅助系统损失类，如厂用蒸汽系统热损失，锅炉连续排污利用系统热损失等；三是带热量工质泄漏损失类，如热力系统汽、水侧工质泄漏热损失。



5 管道热效率计算

- 一般来说机组经济性首先考虑的是汽轮发电机组，其次是锅炉，然后才是管道热力系统，但是，在机组的效率中，管道热效率是其中一项，管道热效率一般认为是一个固定值，取**98%~99%**。实际上，火电厂管道热效率同样可进行正平衡或反平衡计算，它不是个固定值、更不能忽略，管道热力系是当前火电厂节能减排有潜力的一个重要方面。





6 汽轮机热耗率计算

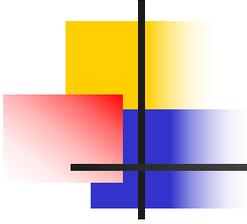
- 具体请参考**GB 8117-1987** 《电站汽轮机热力性能验收试验规程》



7 经济效益分析

- 以一台**135MW**机组为例，按机组**2008**年平均年运行时间约**4911h**计算，若供电标准煤耗率降低**4g/(kW·h)**，全年可节约标准煤
 $135 \times 1000 \times 4911 \times 0.78 \times 4 / 1000 / 1000 = 2068.5\text{t}$ ，标准煤价按**500元/t**计算，仅燃料费用一项，每年可节**100**多万元，经济效益非常显著。同时还可以减少**NO_x**、**SO₂**及粉尘等污染物的排放，社会效益业也很可观。





谢谢!