

QB

中华人民共和国行业标准

QB/T 1927、1928—93

制浆造纸设备能量平衡及 热效率计算方法

1994—01—06 发布

1994—08—01 实施

中华人民共和国轻工业部 发布

中华人民共和国行业标准

QB/T 1927.14—93

碱回收炉能量平衡及热效率计算方法

1 主题内容与适用范围

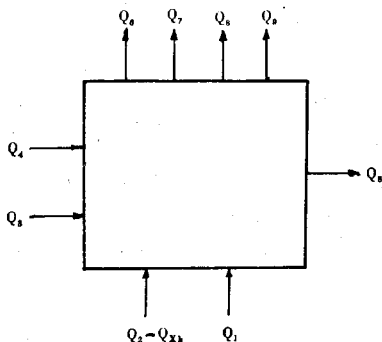
本标准规定了碱回收炉能量平衡及热效率的计算方法。

本标准适用于制浆造纸企业碱回收炉的能量平衡及热效率测试与计算。

2 引用标准

QB/T 1927.1 制浆造纸企业设备能量平衡计算方法通则

3 能量平衡方框图



3.1 能量平衡方框图说明

体系是以入炉的浓黑液和外来给水进口开始至产出蒸汽、排出碱(熔融物)及排烟机入口排出烟气等为体系的边界。

3.2 图中符号意义

Q_1 ——补充燃料供入热量；

Q_2 ——黑液固形物供入热量；

Q_{xh} ——芒硝还原反应耗用热量；

Q_3 ——入炉浓黑液蒸汽加热后带入热量；

Q_4 ——助燃热风带入热量(本炉热量自供热风可不计);

Q_5 ——锅炉产汽带出热量;

Q_6 ——熔融物带出热量;

Q_7 ——黑液中水分在本体系蒸发耗用热量;

Q_8 ——设备散热损失热量;

Q_9 ——排烟及不完全燃烧等损失热量。

3.3 图中符号单位均为 kJ/h。

4 能量平衡计算

4.1 输入热量

4.1.1 补充燃料供入热量 Q_1 , kJ/h, 按公式(1)计算

$$Q_1 = G_1 \cdot [Q_{bw} + c_1(t_1 - t)] \quad (1)$$

式中: G_1 ——补充燃料耗用量, kg/h;

Q_{bw} ——燃料应用基低位发热量, kJ/kg;

c_1 ——燃料比热, kJ/(kg·K);

t_1 ——补充燃料入炉时的温度, °C;

t ——环境温度, °C。

注: 摄氏温度 t (°C) 之差等于热力学温度 (K) 之差。

4.1.2 黑液固形物供入热量 Q_2 , kJ/h, 按公式(2)计算

$$Q_2 = G_2 \cdot [Q_{bw} + c_2(t_2 - t)] \quad (2)$$

式中: G_2 ——黑液固形物量, kg/h;

Q_{bw} ——黑液固形物应用基低位发热量, kJ/kg;

c_2 ——黑液固形物比热, kJ/(kg·K);

t_2 ——黑液固形物入炉时的温度, °C。

4.1.3 芒硝还原反应耗用热量 Q_{sh} , kJ/h, 按公式(3)计算

$$Q_{sh} = 6971 \cdot k \cdot \beta \cdot G_{sh} \quad (3)$$

式中: 6971——每公斤芒硝还原反应吸热量, kJ/kg;

k ——芒硝纯度, %;

β ——芒硝还原率, %;

G_{sh} ——补充芒硝量, kg/h。

4.1.4 入炉浓黑液蒸汽加热后带入热量 Q_3 , kJ/h, 按公式(4)计算

$$Q_3 = G_3 \cdot c_3(t_3 - t_{ry}) \quad (4)$$

式中: G_3 ——浓黑液消耗量, kg/h;

c_3 ——浓黑液比热, kJ/(kg·K);

t_3 ——浓黑液入炉温度, °C;

t_{ry} ——蒸发来的浓黑液温度, °C。

4.1.5 助燃热风带入热量(本炉热量自供热风可不计) Q_4 , kJ/h, 按公式(5)计算

$$Q_4 = V_4 \cdot c_4 (t_4 - t) \dots\dots\dots (5)$$

式中: V_4 ——入炉燃烧用热风量, m^3/h ;
 c_4 ——空气比热, $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$;
 t_4 ——入炉热风温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

4.2 输出热量

4.2.1 锅炉产汽带出热量 Q_5 , kJ/h , 按公式(6)计算

$$Q_5 = G_5 (i'' - i') \dots\dots\dots (6)$$

式中: G_5 ——锅炉产汽量, kg/h ;
 i'' ——锅炉产汽的热焓, kJ/kg ;
 i' ——锅炉给水温度下水的热焓, kJ/kg 。

4.2.2 熔融物带出热量 Q_6 , kJ/h , 按公式(7)计算

$$Q_6 = G_6 [1237 + c_6 (800 - t)] \dots\dots\dots (7)$$

式中: 1237——每公斤熔融物在 850°C 时的熔化热, kJ/kg ;
 c_6 ——熔融物比热, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;
 G_6 ——熔融物量, kg/h ;
800——熔融物流出温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

4.2.3 浓黑液中水分在本体系内蒸发耗用热量 Q_7 , kJ/h , 按公式(8)计算

$$Q_7 = G_7 \cdot [c_7 (100 - t_{ry}) + r_7 + c_{chi} (t_{py} - 100)] \dots\dots\dots (8)$$

式中: G_7 ——蒸发来的黑液中水分量, kg/h ;
 c_7 ——水的比热, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;
 t_{ry} ——蒸发来的黑液温度, $^{\circ}\text{C}$;
 r_7 ——水的汽化潜热, kJ/kg ;
 c_{chi} ——过热水蒸气比热, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;
 t_{py} ——排烟温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

4.2.4 设备散热损失热量 Q_8 , kJ/h , 按公式(9)计算

$$Q_8 = \sum F \cdot \alpha (t_2 - t) \dots\dots\dots (9)$$

式中: $\sum F$ ——各部分设备散热面积, m^2 ;
 α ——保温层表面放热系数; 对表面不超过 50°C 时, 其放热系数可以近似计算:
 $\alpha = [8.4 + 0.06 (t_2 - t)] \times 4.1868, \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{h})$
 t_2 ——保温层表面温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

若设备散热损失热量测定有困难, 可参照设计值取用或也可以按公式(10)估算

$$Q_8 = q_H \cdot \frac{G_H}{G} (Q_1 + Q_2 + Q_{ch} + Q_3 + Q_4) \dots\dots\dots (10)$$

式中: q_H ——额定负荷时散热损失率, 其数值可按下表取用:

锅炉蒸发量(G_H)/t/h		2	4	6	10	15	20	35
散热损失	无尾部受热面	3.4	2.1	1.5	—	—	—	—
率(q_H)/%	有尾部受热面	—	2.9	2.4	1.7	1.5	1.3	1.0

G_H ——额定负荷蒸发量,t/h;

G ——实际平均负荷蒸发量,t/h。

4.2.5 排烟及未完全燃烧等损失热量 Q_9 , kJ/h, 按公式(11)计算

$$Q_9 = (Q_1 + Q_2 - Q_{sh} + Q_3 + Q_4) - (Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8) \dots\dots\dots (11)$$

5 设备热效率计算

5.1 有效热量 Q_{yz} , kJ/h, 按公式(12)计算

$$Q_{yz} = Q_5 \dots\dots\dots (12)$$

5.2 供给热量 Q_{GG} , kJ/h, 按公式(13)计算

$$Q_{GG} = Q_1 + Q_2 - Q_{sh} + Q_3 + Q_4 \dots\dots\dots (13)$$

5.3 损失热量 Q_m , kJ/h, 按公式(14)计算

$$Q_m = Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 \dots\dots\dots (14)$$

5.4 碱回收炉正平衡热效率 $\eta_{正}$, %, 按公式(15)计算

$$\eta_{正} = \frac{Q_{yz}}{Q_{GG}} \times 100\% = \frac{Q_5}{Q_1 + Q_2 - Q_{sh} + Q_3 + Q_4} \times 100\% \dots\dots\dots (15)$$

5.5 碱回收炉反平衡热效率 $\eta_{反}$, %, 按公式(16)计算

$$\eta_{反} = (1 - \frac{Q_m}{Q_{GG}}) \times 100\% = (1 - \frac{Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9}{Q_1 + Q_2 - Q_{sh} + Q_3 + Q_4}) \times 100\% \dots\dots\dots (16)$$

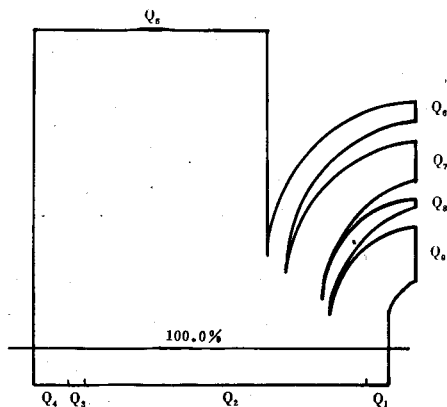
6 能量平衡表

序号	输入能量			输出能量		
	项 目	数 量 kJ/kg	百分数 %	项 目	数 量 kJ/kg	百分数 %
1	补充燃料供入热量 Q_1					
2	黑液固形物供入热量 Q_2					
3	入炉浓黑液蒸汽加热后带入热量 Q_3					
4	助燃热风带入热量 Q_4					
5				锅炉产汽带出热量 Q_5		
6				熔融物带出热量 Q_6		
7				浓黑液中水分在本体系内蒸发耗用热量 Q_7		

续表

序号	输入能量			输出能量		
	项 目	数 量 kJ/kg	百分数 %	项 目	数 量 kJ/kg	百分数 %
8				设备散热损失热量 Q_6		
9				排烟及未完全燃烧等损失热量 Q_9		
	合 计		100	合 计		100

7 能量流向图



附录 A

碱回收炉能量平衡及热效率计算方法实例

(参考件)

A1 碱回收炉热平衡测试数据[150t 木浆(硬浆)碱回收炉]

A1.1 蒸发来浓黑液:耗用量 $18\text{m}^3/\text{h}$, 浓度 51.01% , 密度 $1.32\text{t}/\text{m}^3$, 温度 90°C ,
入炉温度 101°C ;

A1.2 黑液固形物:比热 $2.973\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, 低位发热量 $13206.124\text{kJ}/\text{kg}$;

A1.3 外供给水:流量 $32.4\text{t}/\text{h}$, 温度 138°C , 热焓 $557.778\text{kJ}/\text{h}$;

A1.4 外供热热风:风量 $38571\text{Nm}^3/\text{h}$, 温度 140°C , 比热 $1.2979\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

A1.5 产汽量:过热蒸汽量 $32.4\text{t}/\text{h}$, 压力 3.7MPa , 温度 437.5°C , 热焓 $3307.991\text{kJ}/\text{kg}$;

A1.6 补充芒硝:加入量 $721\text{kJ}/\text{h}$, 纯度 83.86% , 还原率 98.95% ;

A1.7 绿液产量:总碱产量 $4.656\text{t}/\text{h}$ (以全碱量计);

A1.8 排烟:排烟温度 180°C 。

A2 能量平衡方框图(参见第3章)

A3 能量平衡计算

A3.1 输入热量

A3.1.1 补充燃料供入热量 Q_1

本炉正常运行时不加补充燃料,本例无计算。

A3.1.2 黑液固形物供入热量 Q_2

$$\begin{aligned} Q_2 &= G_2 [Q_{\text{DW}} + c_2(t_2 - t)] \\ &= (18 \times 1.32 \times 0.5101) \times 10^3 \times [13206.124 + 2.973 \times (101 - 25)] \\ &= 162796.390 \times 10^3 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

A3.1.3 芒硝还原反应耗用热量 Q_{sh}

$$\begin{aligned} Q_{\text{sh}} &= 6971 \cdot k \cdot \beta \cdot G_{\text{sh}} \\ &= 6971 \times 0.8386 \times 0.9895 \times 721 \\ &= 4170.624 \times 10^3 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

A3.1.4 入炉浓黑液蒸汽加热后带入热量 Q_3

$$\begin{aligned} Q_3 &= G_3 \cdot c_3(t_3 - t_{\text{ry}}) \\ &= (18 \times 1.32) \times 10^3 \times 2.8621 \times (101 - 90) \\ &= 748.038 \times 10^3 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

A3.1.5 助燃热风带入热量(本炉热量自供热风可不计) Q_4

$$\begin{aligned} Q_4 &= V_4 \cdot c_4(t_4 - t) \\ &= 38571 \times 1.298 \times (140 - 25) \\ &= 5757.493 \times 10^3 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

A3.2 输出热量

A3.2.1 锅炉产汽带出热量 Q_5

$$\begin{aligned}
 Q_5 &= G_5(i'' - i') \\
 &= 32.4 \times 10^3 \times (3307.991 - 577.7784) \\
 &= 88458.888 \times 10^3 \text{ kJ/h}
 \end{aligned}$$

A3.2.2 熔融物带出热量 Q_6

$$\begin{aligned}
 Q_6 &= G_6[1237 + C_6(800 - t)] \\
 &= 4.656 \times 10^3 \times [1237 + 1.13 \times (800 - 25)] \\
 &= 9836.964 \times 10^3
 \end{aligned}$$

A3.2.3 浓黑液中水分在本体系内蒸发耗用热量 Q_7

$$\begin{aligned}
 Q_7 &= G_7[C_7(100 - t_{ry}) + r_7 + c_{\text{ch}}(t_{py} - 100)] \\
 &= (18 \times 1.32 \times 0.4899 \times 10^3 \times [4.187 \times (100 - 90) + 2256.685 + 1.926 \times (180 - 100)] \\
 &= 28548.730 \times 10^3 \text{ kJ/h}
 \end{aligned}$$

A3.2.4 设备散热损失热量 Q_8

$$\begin{aligned}
 Q_8 &= q_H \frac{G_H}{G} (Q_1 + Q_2 - Q_{\text{sh}} + Q_3 + Q_4) \\
 &= 1.3\% \times \frac{32}{32.4} \times (0 + 162796.390 - 4170.624 + 748.038 + 5757.493) \times 10^3 \\
 &= 2120.204 \times 10^3 \text{ kJ/h}
 \end{aligned}$$

A3.2.5 排烟及未完全燃烧等损失热量 Q_9

$$\begin{aligned}
 Q_9 &= (Q_1 + Q_2 - Q_{\text{sh}} + Q_3 + Q_4) - (Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8) \\
 &= (0 + 162796.390 - 4170.624 + 748.038 + 5757.493) \times 10^3 - (88458.888 + 9836.964 \\
 &\quad + 28548.730 + 2120.204) \times 10^3 \\
 &= 36166.511 \times 10^3 \text{ kJ/h}
 \end{aligned}$$

A4 碱回收炉设备热效率计算**A4.1 有效热量 Q_{yx}**

$$\begin{aligned}
 Q_{yx} &= Q_5 \\
 Q_5 &= 88458.888 \times 10^3 \text{ kJ/h}
 \end{aligned}$$

A4.2 供给热量 Q_{GG}

$$\begin{aligned}
 Q_{GG} &= Q_1 + Q_2 - Q_{\text{sh}} + Q_3 + Q_4 \\
 &= (0 + 162796.309 - 4170.624 + 748.038 + 5757.493) \times 10^3 \\
 &= 165131.216 \times 10^3 \text{ kJ/h}
 \end{aligned}$$

A4.3 损失热量 Q_{ss}

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{ss}} &= Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 \\
 &= (9836.964 + 28548.730 + 2120.204 + 36166.511) \times 10^3 \\
 &= 76672.409 \times 10^3
 \end{aligned}$$

A4.4 碱回收炉正平衡热效率 $\eta_{\text{正}}$

$$\eta_{\text{正}} = \frac{Q_{yx}}{Q_{GG}} \times 100\% = \frac{Q_5}{Q_1 + Q_2 - Q_{\text{sh}} + Q_3 + Q_4} \times 100\%$$

$$= \frac{88458.888}{165131.216} \times 100\% = 53.57\%$$

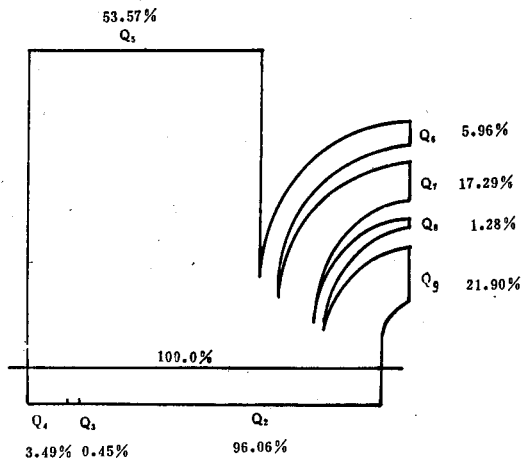
A4.5 碱回收炉反平衡热效率 $\eta_{\text{反}}$

$$\eta_{\text{反}} = \left(1 - \frac{Q_{\text{GG}}}{Q_1 + Q_2 - Q_{\text{xb}} + Q_3 + Q_4}\right) \times 100\% \\ = \left(1 - \frac{76672.409}{165131.216}\right) \times 100\% = 53.57\%$$

A5 能量平衡表

序号	输入能量			输出能量		
	项 目	数 量 kJ/kg	百分数 %	项 目	数 量 kJ/kg	百分数 %
1	补充燃料供入热量 Q_1					
2	黑液固形物供入热量 Q_2	158625.77×10^3	96.06			
3	入炉浓黑液蒸汽加热后带人热量 Q_3	748.038×10^3	0.45			
4	助燃热风带人热量 Q_4	5757.493×10^3	3.49			
5				锅炉产汽带出热量 Q_5	88458.888×10^3	53.57
6				熔融物带出热量 Q_6	9836.964×10^3	5.96
7				浓黑液中水分在本体系内蒸发耗用热量 Q_7	28548.730×10^3	17.29
8				设备散热损失热量 Q_8	2120.208×10^3	1.28
9				排烟及未完全燃烧等损失热量 Q_9	36166.511×10^3	21.90
	合 计		100	合 计		100

A6 能量流向图



附加说明:

本标准由轻工业部造纸工业司提出。

本标准由全国造纸标准化中心归口。

本标准由福建省青州造纸厂、轻工业部造纸工业科学研究所负责起草。

本标准主要起草人:魏启光、刘江毅、张少玲。