

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 1927.3—93

碱法蒸煮锅能量平衡及热效率计算方法

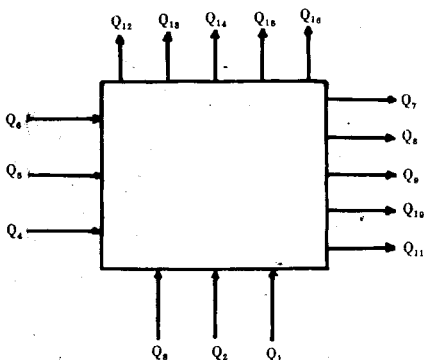
1 主题内容与适用范围

本标准规定了制浆造纸企业生产过程的系统或设备能量平衡和热效率的计算方法。
本标准适用于制浆造纸企业中以碱法制浆蒸煮锅的能量平衡及热效率计算。

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 体系边界

体系从进入蒸煮锅的蒸汽流量表开始至放锅止。

3.2 图中符号意义

- Q_1 ——间接加热蒸煮液供给热量；
 Q_2 ——直接加热蒸煮液供给热量；
 Q_3 ——蒸汽装锅供给热量；
 Q_4 ——原料带入热量；

- Q_5 ——原料中水分带入热量;
 Q_6 ——蒸煮液带入热量;
 Q_7 ——加热绝干原料带出热量;
 Q_8 ——加热原料中水分(包括直接加热蒸汽的冷凝水量)带出热量;
 Q_9 ——加热蒸煮液带出热量;
 Q_{10} ——大放汽带出热量;
 Q_{11} ——小放汽带出热量;
 Q_{12} ——锅体加热损失热量;
 Q_{13} ——锅体散热损失热量;
 Q_{14} ——蒸汽管道、附属设备损失热量;
 Q_{15} ——蒸汽凝结水损失热量;
 Q_{16} ——蒸煮锅其他损失热量。

以上符号的热量是以每锅次为计算单位,均为千焦(kJ)。

3.3 计算时的基准温度为环境温度。

4 能量平衡及设备热效率计算

4.1 输入能量计算

4.1.1 间接加热蒸煮液供给的热量 Q_1 , kJ, 按(1)式计算

$$Q_1 = D(i_1 - i_2) \quad (1)$$

式中: D ——间接加热蒸煮液供汽量, kg;

i_1 ——蒸汽热焓值, kJ/kg;

i_2 ——环境温度下水的热焓, kJ/kg。

4.1.2 直接加热蒸煮液供给的热量 Q_2 , kJ, 按(2)式计算

$$Q_2 = D_a(i_1 - i_2) \quad (2)$$

式中: D_a ——直接加热蒸煮液供汽量, kg。

4.1.3 蒸汽装锅用热量 Q_3 , kJ, 按(3)式计算

$$Q_3 = D_b(i_1 - i_2) \quad (3)$$

式中: D_b ——蒸汽装锅供汽量, kg。

4.1.4 原料带入热量 Q_4 , kJ, 按(4)式计算

$$Q_4 = G_1 \cdot c_1(t - t_0) \quad (4)$$

式中: G_1 ——绝干原料量, kg;

c_1 ——绝干原料比热, kJ/(kg · K);

t ——原料初始温度, °C;

t_0 ——环境温度 °C。

4.1.5 原料中水分带入热量 Q_5 , kJ, 按(5)式计算

$$Q_5 = G_2 \cdot c_2(t - t_0) \quad (5)$$

式中: G_2 ——原料中水分的重量, kg;

c_2 ——水的比热, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

4.1.6 蒸煮液带入热量 Q_6 , kJ , 按(6)式计算

$$Q_6 = G_3 \cdot c_3 (t_1 - t_0) \quad (6)$$

式中: G_3 ——蒸煮液总重量, kg ;

c_3 ——蒸煮液的比热, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

t_1 ——蒸煮液的温度, (指混合液) $^{\circ}\text{C}$ 。

4.1.7 蒸煮供给总热量 Q_{GG} , kJ , 按(7)式计算

$$Q_{GG} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (7)$$

4.1.8 输入总能量 Q_A , kJ , 按(8)式计算

$$Q_A = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (8)$$

4.2 蒸煮锅实际单位耗热量 Q'_{GG} , kJ/kg (风干浆), 按(9)式计算

$$Q'_{GG} = (Q_{GG}/G_1 \cdot P) \times 0.9 \quad (9)$$

式中: P ——蒸煮收获率, %;

0.9——风干浆系数。

4.3 输出(有效)能量计算

4.3.1 加热绝干原料带出热量 Q_7 , kJ , 按(10)式计算

$$Q_7 = G_1 \cdot c_1 (t_2 - t_0) \quad (10)$$

式中: t_2 ——蒸煮最高温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

4.3.2 加热原料中水分(包括直接加热蒸汽的冷凝水量)带出热量 Q_8 , kJ , 按(11)式计算

$$Q_8 = (G_2 + D_s) \cdot c_2 (t_2 - t_0) \quad (11)$$

4.3.3 加热蒸煮液带出热量 Q_9 , kJ , 按(12)式计算

$$Q_9 = (G_3 - W - W_s) \cdot c_3 (t_2 - t_0) \quad (12)$$

式中: W ——大放汽总汽量, kg ;

W_s ——小放汽总汽量(其中不凝结气体忽略不计), kg 。

4.3.4 大放汽(放锅汽)带出热量 Q_{10} , kJ , 按(13)式计算

$$Q_{10} = W(i_w - i_2) \quad (13)$$

式中: i_w ——大放汽在平均压力、温度下的热焓, kJ/kg 。

4.3.5 小放汽带出热量 Q_{11} , kJ , 按(14)式计算

$$Q_{11} = W_s(i_s - i_2) \quad (14)$$

式中: i_s ——小放汽在平均压力、温度下的热焓, kJ/kg 。

4.3.6 输出(有效)总能量 Q_{YX} , kJ , 按(15)式计算

$$Q_{YX} = Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10} + Q_{11} \quad (15)$$

4.4 蒸煮有效单位耗热量 Q'_{YX} , kJ/kg (风干浆), 按(16)式计算

$$Q'_{YX} = (Q_{YX}/G_1 \cdot P) \times 0.9 \quad (16)$$

4.5 蒸煮锅热效率(正平衡法) η_E , %, 按(17)式计算

$$\eta_E = Q_{YX}/Q_{GG} \times 100\% \quad (17)$$

4.6 输出(损失)能量计算

4.6.1 锅体加热损失热量 Q_{12} , kJ, 按(18)式计算

$$Q_{12} = Q_{12a} + Q_{12b} \quad (18)$$

式中: Q_{12a} ——锅体钢板加热损失热量, kJ; Q_{12b} ——锅体保温层加热损失热量, kJ。4.6.1.1 锅体钢板加热损失热量 Q_{12a} , kJ, 按(19)式计算

$$Q_{12a} = G_a \cdot c_a (t'_a - t_a) \quad (19)$$

式中: G_a ——锅体钢板的总重量, kg; c_a ——钢板比热, kJ/(kg · K); t'_a ——钢板在蒸煮过程中达到的最高温度, °C; t_a ——钢板在蒸煮过程中达到的最低温度, °C。4.6.1.2 锅体保温层加热损失热量 Q_{12b} , kJ, 按(20)式计算

$$Q_{12b} = G_b \cdot c_b (t'_b - t_b) \quad (20)$$

式中: G_b ——锅体保温层总重量, kg; c_b ——保温层材料比热, kJ/(kg · K); t'_b ——保温层在蒸煮过程中达到的最高温度, °C; t_b ——保温层在蒸煮过程中达到的最低温度, °C。4.6.2 蒸煮锅体散热损失热量 Q_{13} , kJ, 按(21)式计算

$$Q_{13} = Q_{13a} + Q_{13b} + Q_{13c} \quad (21)$$

式中: Q_{13a} ——蒸煮升温阶段锅体散热损失热量, kJ; Q_{13b} ——蒸煮保温阶段锅体散热损失热量, kJ; Q_{13c} ——蒸煮最高保持温度后至放锅完毕阶段锅体散热损失热量, kJ。4.6.2.1 蒸煮升温阶段锅体散热损失热量 Q_{13a} , kJ, 按(22)式计算

$$Q_{13a} = 3.5965 \cdot F \cdot K [(t_2 + t_1)/2 - t_0] \cdot Z_1 \quad (22)$$

式中: F ——锅体总表面积, m²; K ——传热系数, W/(m² · K); Z_1 ——蒸煮升温时间, h;

3.5965——由 W 换算为 kJ/h 换算系数;

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad \text{W/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad (23)$$

式中: α_1 ——锅内蒸煮物料对锅壁的传热系数, W/(m² · K); δ_1 ——锅体钢板厚度, m; λ_1 ——锅体钢板导热系数, W/(m · K); δ_2 ——锅体保温层厚度, m; λ_2 ——锅体保温层导热系数, W/(m · K); α_2 ——锅外壁对周围空气的传热系数, W/(m² · K);且有 $\alpha_2 = \alpha_c + \alpha_r$, 其中对流传热系数 α_c , W/(m² · K), 按(24)式计算, 辐射传热系数 α_r , W/(m² · K), 按(25)式计算

$$\alpha_r = 2.561 \sqrt[4]{(t_a - t_0)} \quad (24)$$

式中: t_a ——锅外壁的平均温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

$$\alpha_r = 1.164 \times C \cdot C' \quad (25)$$

式中: C ——温度系数, 按(26)式计算;

C' ——辐射系数, 按(27)式计算。

$$C = \frac{[(273 + t_a)/100]^4 - [(273 + t_0)/100]^4}{t_a - t_0} \quad (26)$$

$$C' = \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5} \quad (27)$$

式中: C_4 ——无光泽铁板的辐射系数;

C_5 ——完全黑体辐射系数。

4.6.2.2 蒸煮保温阶段锅体散热损失热量 Q_{13b} , kJ, 按(28)式计算

$$Q_{13b} = 3.5965 \cdot F \cdot K(t_2 - t_0)Z_2 \quad (28)$$

式中: Z_2 ——蒸煮保温时间, h;

3.5965——由 W 换算为 kJ/h 的换算系数。

4.6.2.3 蒸煮最高保持温度以后至放锅完毕阶段锅体散热损失热量 Q_{13c} , kJ, 按(29)式计算

$$Q_{13c} = 3.5965 \cdot F \cdot K[(t_2 + t_0)/2 - t_0] \cdot Z_3 \quad (29)$$

式中: Z_3 ——蒸煮最高保持温度以后至放锅完毕阶段的时间, h。

4.6.3 蒸煮管道及附属设备的损失热量 Q_{14} , kJ, 按(30)式计算

蒸煮管道及附属设备热损失亦包括加热损失和散热损失两部分, 可分别进行计算, 如计算有困难时可进行估算, 一般取该项热损失为总有效热的 4.0%~6.0% 进行计算(暂按 6.0% 计)。

即 $\delta_0 = 0.060$

$$Q_{14} = Q_{YX} \times 0.060 \quad (30)$$

4.6.4 蒸汽凝结水损失热量 Q_{15} , kJ, 按(31)式计算

$$Q_{15} = D \cdot C_2(t_3 - t_0) \quad (31)$$

式中: t_3 ——凝结水温度 $^{\circ}\text{C}$ 。

4.6.5 蒸煮锅其他损失热量 Q_{16} , kJ, 按(32)式计算

其他热损失包括蒸汽泄漏等, 可用反算法计算。

$$Q_{16} = Q_A - Q_{YX} - (Q_{12} + Q_{13} + Q_{14} + Q_{15}) \quad (32)$$

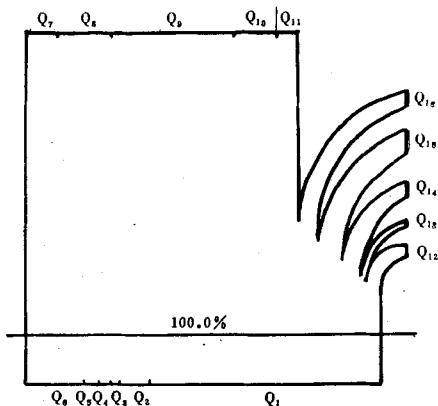
4.6.6 输出(损失)总能量 Q_{SS} , kJ, 按(33)式计算

$$Q_{SS} = Q_{12} + Q_{13} + Q_{14} + Q_{15} + Q_{16} \quad (33)$$

5 能量平衡表

序号	输入能量			输出能量		
	项 目	数量 kJ	百分数 %	项 目	数量 kJ	百分数 %
1	间接加热蒸煮液供给热量					
2	直接加热蒸煮液供给热量					
3	蒸汽装锅供给热量					
4	原料带入热量					
5	原料中水分带入热量					
6	蒸煮液带入热量					
7				加热绝干原料带出热量		
8				加热原料中水分(包括直接加热蒸汽冷凝水)带出热量		
9				加热蒸煮液带出热量		
10				大放汽带出热量		
11				小放汽带出热量		
12				锅体加热损失热量		
13				锅体散热损失热量		
14				蒸煮管道、附属设备损失热量		
15				蒸汽凝结水损失热量		
16				蒸煮锅其它损失热量		
	合 计		100	合 计		100

6 能量流向图



附录 A

碱法蒸煮锅能量平衡及热效率计算示例

(参考件)

A1 已知有关计算数据及参数(均以每锅次作为计算依据)

蒸煮锅容积	110m ³ ;
锅体直径	3.6m;
锅体壁厚	32mm;
锅体钢板重量	53t;
保温层重量	3.1t;
保温层厚度	60mm;
保温层外表面积	120m ² ;
钢板比热	0.502 kJ/(kg·K);
保温材料比热	0.754 kJ/(kg·K);
锅内物料对钢板的传热系数	5815 W/(m ² ·K);
锅体钢板导热系数	58.15 W/(m·K);
保温层导热系数	0.174 W/(m·K);
锅外壁对周围空气的传热系数	12.44 W/(m ² ·K);
1W=3.5965 kJ/h	
环境温度	20℃;
水的比热	4.187 kJ/(kg·K);
绝干木片比热	1.423 kJ/(kg·K);
蒸煮液比热	3.768 kJ/(kg·K);
风干浆系数	0.9;
间接加热蒸煮液供汽量	16500 kg;
直接加热蒸煮液供汽量	1500 kg;
绝干木片量	21000 kg;
蒸煮液用量	46200 kg;
小放汽量	1286 kg;
大放汽量	2318 kg;
蒸煮用汽温度	260℃;
蒸煮用汽压力	1.0MPa;
蒸汽冷凝水温度	140℃;
蒸煮用汽热焓值	2964 kJ/kg;
小放汽热焓值	2717 kJ/kg;
大放汽热焓值	2793 kJ/kg;
蒸煮液(混合)温度 80℃; 钢板在蒸煮过程中达到的最低温度, 82℃;	
木片温度	30℃;

木片水分	36%;
木片含水量	11813 kg;
蒸煮收获率	42%;
蒸煮最高温度	170℃;
蒸煮升温时间	2.5h;
蒸煮保温时间	1.5h;

蒸煮最高保持温度以后至放锅完毕阶段时间为 0.5h。

A2 输入能量计算(以每锅次作为计算依据)

A2.1 间接加热蒸煮液供给热量

$$Q_1 = 16500 \times (2964 - 83.74) = 47524290 \text{ kJ}$$

A2.2 直接加热蒸煮液供给热量

$$Q_2 = 1500 \times (2964 - 83.74) = 4320390 \text{ kJ}$$

A2.3 原料带入热量

$$Q_4 = 21000 \times 1.423 \times (30 - 20) = 298830 \text{ kJ}$$

A2.4 原料中水分带入热量

$$Q_5 = 11813 \times 4.187 \times (30 - 20) = 494610 \text{ kJ}$$

A2.5 蒸煮液带入热量

$$Q_6 = 46200 \times 3.768 \times (80 - 20) = 10444896 \text{ kJ}$$

A2.6 蒸煮供给总热量

$$Q_{GG} = 47524290 + 4320390 = 51844680 \text{ kJ}$$

A2.7 输入总能量

$$Q_A = 47524290 + 4320390 + 298830 + 494610 + 10444896 = 63083016 \text{ kJ}$$

A3 蒸煮锅实际单位耗热量

$$Q'_{GG} = [51844680 / (21000 \times 0.42)] \times 0.9 = 5290 \text{ kJ/kg(风干浆)}$$

A4 输出(有效)能量计算

A4.1 加热绝干原料带出热量

$$Q_7 = 21000 \times 1.423 \times (170 - 20) = 4482450 \text{ kJ}$$

A4.2 加热原料中水分(包括直接加热供汽的冷凝水量)带出热量

$$Q_8 = (11813 + 1500) \times 4.187 \times (170 - 20) = 8361230 \text{ kJ}$$

A4.3 加热蒸煮液带出热量

$$Q_9 = (46200 - 2318 - 1286) \times 3.768 \times (170 - 20) = 24075259 \text{ kJ}$$

A4.4 大放汽带出热量

$$Q_{10} = 2318 \times (2793 - 83.74) = 6280065 \text{ kJ}$$

A4.5 小放汽带出热量

$$Q_{11}=1286 \times (2717-83.74)=3386372 \text{ kJ}$$

A4.6 输出(有效)总能量

$$Q_{YX}=4482450+8361230+24075259+6280065+3386372=46585376 \text{ kJ}$$

A5 蒸煮有效单位耗热量

$$Q'_{YX}=(46585376/21000 \times 0.42) \times 0.9=4754 \text{ kJ/kg(风干浆)}$$

A6 蒸煮锅热效率(正平衡)

$$\eta=46585376 \div 51844680 \times 100\%=89.9\%$$

A7 输出(损失)能量计算

A7.1 锅体加热损失热计算

A7.1.1 锅体钢板加热损失热量

$$Q_{12a}=53000 \times 0.502 \times (170-82)=2341328 \text{ kJ}$$

A7.1.2 锅体保温层加热损失热量

$$Q_{12b}=3100 \times 0.754 \times (60-40)=46748 \text{ kJ}$$

A7.1.3 锅体加热总损失热量

$$Q_{12}=2341328+46748=2388076 \text{ kJ}$$

A7.2 锅体散热损失热量计算

A7.2.1 蒸煮升温阶段锅体散热损失热量

$$K=\frac{1}{\frac{1}{5815}+\frac{0.032}{58.15}+\frac{0.060}{0.174}+\frac{1}{12.44}}=2.348 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$Q_{13a}=3.5965 \times 120 \times 2.348 \times [(170+82)/2-20] \times 2.5=268538 \text{ kJ}$$

A7.2.2 蒸煮保温阶段锅体散热损失热量

$$Q_{13b}=3.5965 \times 120 \times 2.348 \times (170-20) \times 1.5=228004 \text{ kJ}$$

A7.2.3 蒸煮最高保持温度以后至放锅完毕阶段锅体散热损失热量

$$Q_{13c}=3.5965 \times 120 \times 2.348 \times [(170+20)/2-20] \times 0.5=38001 \text{ kJ}$$

A7.2.4 锅体散热总损失热量

$$Q_{13}=268538+228004+38001=534543 \text{ kJ}$$

A7.3 蒸煮管道及附属设备热损失

$$Q_{14}=46585376 \times 0.06=2795123 \text{ kJ}$$

A7.4 蒸汽凝结水损失热量

$$Q_{15}=16500 \times 4.187 \times (140-20)=8290260 \text{ kJ}$$

A7.5 蒸煮锅其它损失热

$$Q_{16}=63083016-46585376-(2388076+534543+2795123+8290260)=2489638 \text{ kJ}$$

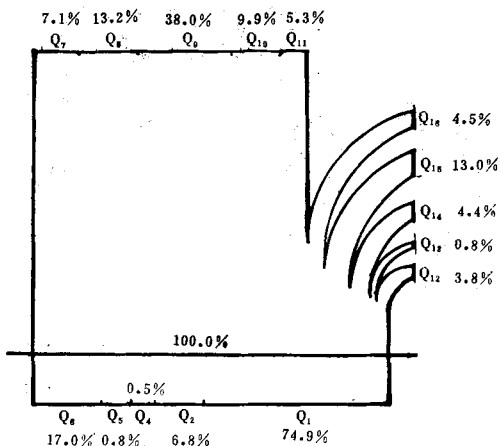
A7.6 输出(损失)总能量

$$Q_{SS}=2388076+534543+2795123+8290260+2489638=16497640 \text{ kJ}$$

A8 能量平衡表

序号	输入能量			输出能量		
	项 目	数量 kJ	百分数 %	项 目	数量 kJ	百分数 %
1	间接加热蒸煮液供给热量	47524290	74.9			
2	直接加热蒸煮液供给热量	4320390	6.8			
4	原料带入热量	298830	0.5			
5	原料水分带入热量	494610	0.8			
6	蒸煮液带入热量	10444896	17.0			
7				加热绝干原料带出热量	4482450	7.1
8				加热原料中水分(包括直接加热蒸汽冷凝水)带出热量	8361230	13.2
9				加热蒸煮液带出热量	24075259	38.0
10				大放汽带出热量	6280065	9.9
11				小放汽带出热量	3386372	5.3
12				锅体加热损失热量	2388076	3.8
13				锅体散热损失热量	534543	0.8
14				蒸煮管道、附属设备损失热量	2795123	4.4
15				蒸汽凝结水损失热量	8290260	13.0
16				蒸煮锅其它损失热量	2489638	3.8
	合 计	63083016	100	合 计	63083016	100

A9 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。

本标准由佳木斯造纸厂、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:赵贵清、董祥、张少玲、刘江毅。