

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 1927.4-93

蒸球能量平衡及热效率计算方法

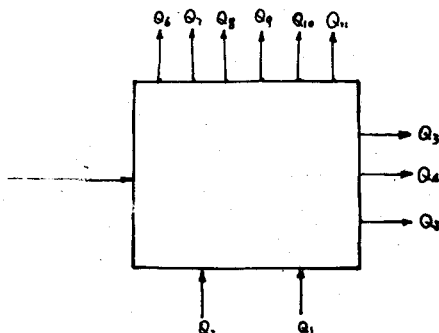
1 主题内容与适用范围

本标准规定了制浆造纸企业蒸球能量平衡及热效率计算的一般原则和计算方法。
本标准适用于制浆造纸企业蒸球能量平衡及热效率的计算。

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 能量平衡方框图的边界

本体系从计量进蒸球的蒸汽流量表开始,至蒸球喷口止,以空球上料起,至蒸球喷料止为测试时间。

3.2 能量平衡图中符号的意义

- Q_1 ——供给蒸球用热量, kJ;
- Q_2 ——药液入蒸球前加热耗热量, kJ;
- Q_3 ——加热绝干原料用热量, kJ;
- Q_4 ——加热原料中水分用热量, kJ;

Q_5 ——加热药液用热量, kJ;

Q_6 ——加热球体耗热量, kJ;

Q_7 ——加热保温层耗热量, kJ;

Q_8 ——球体散热, kJ;

Q_9 ——小放汽散热, kJ;

Q_{10} ——管道散热, kJ;

Q_{11} ——其他热耗, kJ。

蒸球能量平衡均以每蒸煮一球浆收入与支出的热量计。

4 能量平衡的计算

4.1 能量平衡测验数据

4.2 供给蒸球实际总耗汽热量 Q_{GG} , kJ, 按(1)式计算

$$Q_{GG} = Q_1 + Q_2 \dots\dots\dots (1)$$

4.2.1 供给蒸球用热量 Q_1 , kJ, 按(2)式计算

$$Q_1 = G_1(I'' - I') \dots\dots\dots (2)$$

式中: G_1 ——蒸煮总耗汽量, kg;

I'' ——供给蒸汽对应压力下的焓值, kJ/kg;

I' ——环境状况下水的焓值, kJ/kg。

4.2.2 药液入蒸球前加热耗热量 Q_2 , kJ, 按(3)式计算

$$Q_2 = G_2 \cdot c_2(t_2 - t) \dots\dots\dots (3)$$

式中: G_2 ——药液质量, kg;

c_2 ——药液比热, kJ/(kg·K);

t_2 ——蒸煮前药液温度, °C;

t ——环境温度, °C。

4.3 供给蒸球单位耗热量 Q'_{GG} , kJ, 按(4)式计算

$$Q'_{GG} = \frac{Q_{GG}}{G' \cdot P} \dots\dots\dots (4)$$

式中: G' ——风干原料质量, kg;

P ——粗浆得率, %。

4.4 蒸球有效耗热量 Q_{yx} , kJ, 按(5)式计算

$$Q_{yx} = Q_3 + Q_4 + Q_5 \dots\dots\dots (5)$$

4.4.1 加热绝干原料用热量 Q_3 , kJ, 按(6)式计算

$$Q_3 = G_3 \cdot c_3(t_3 - t) \dots\dots\dots (6)$$

式中: G_3 ——绝干原料质量, kg;

c_3 ——原料比热, kJ/(kg·K);

t_3 ——蒸煮最高温度, °C。

4.4.2 加热原料中水分用热量 Q_4 , kJ, 按(7)式计算

$$Q_4 = G_4 \cdot c_4(t_3 - t) \dots\dots\dots (7)$$

式中: G_4 ——原料中水分质量, kg;
 c_4 ——水的比热, kJ/(kg·K)。

4.4.3 加热药液用热量 Q_5 , kJ, 按(8)式计算

$$Q_5 = G_2 \cdot c_2 (t_3 - t) \dots\dots\dots (8)$$

4.5 蒸球有效单位耗热量 Q'_{yx} , kJ, 按(9)式计算

$$Q'_{yx} = \frac{Q_{yx}}{G' \cdot P} \dots\dots\dots (9)$$

4.6 蒸煮过程中损失热总量 Q_{ss} , kJ, 按(10)式计算

$$Q_{ss} = Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10} + Q_{11} \dots\dots\dots (10)$$

4.6.1 加热球体耗热量 Q_6 , kJ, 按(11)式计算:

$$Q_6 = G_6 \cdot c_6 (t_6 - t) \dots\dots\dots (11)$$

式中: G_6 ——钢板质量, kg;
 c_6 ——钢板比热, kJ/(kg·K);
 t_6 ——刚放完球时, 钢板温度, °C。

4.6.2 加热保温层耗热量 Q_7 , kJ, 按(12)式计算

$$Q_7 = G_7 \cdot c_7 (t_7 - t) \dots\dots\dots (12)$$

式中: G_7 ——保温层质量, kg;
 c_7 ——保温层材料比热, kJ/(kg·K);
 t_7 ——保温层在刚放完球时温度, °C。

4.6.3 球体散热 Q_8 , kJ, 按(13)式计算

$$Q_8 = Q_{8a} + Q_{8b} + Q_{8c} \dots\dots\dots (13)$$

式中: Q_{8a} ——蒸煮升温阶段球体散热量, kJ;
 Q_{8b} ——蒸煮保温阶段球体散热量, kJ;
 Q_{8c} ——蒸煮最高保持温度后至放球散热量, kJ。

各阶段球体散热 Q_8 , kJ, 按(14)式计算

$$Q_8 = F \cdot K (\theta - t) \cdot Z \dots\dots\dots (14)$$

式中: F ——球体表面积, m²;
 K ——传热系数, kJ/(m²·K);
 θ ——球外壁平均温度, °C;
 Z ——散热时间, s。

传热系数 K 的计算如下:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}} \dots\dots\dots (15)$$

式中: δ_1 ——球钢板厚度, m;
 δ_2 ——球体保温层厚度, m;
 λ_1 ——球体钢板导热系数, kJ/(m·K);
 λ_2 ——球体保温层导热系数, kJ/(m·K);

α_1 ——球内蒸煮物对球内壁换热系数, $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

α_2 ——球保温层对空气的换热系数, $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

各阶段球体散热量计算如下:

$$Q_{8a} = F \cdot K \left(\frac{t_3 + t_2}{2} - t \right) \cdot Z_a \quad (16)$$

$$Q_{8b} = F \cdot K (t_3 - t) \cdot Z_b \quad (17)$$

$$Q_{8c} = \frac{1}{2} F \cdot K \left(\frac{t_3 + t_c}{2} - t \right) \cdot Z_c \quad (18)$$

式中: t_c ——蒸煮物放完前物料温度, $^{\circ}\text{C}$;

Z_a ——蒸煮升温时间, s ;

Z_b ——蒸煮最高温度保温时间, s ;

Z_c ——蒸煮最高温度保温后至放球完毕用时间, s 。

4.6.4 小放汽散热 Q_9 , kJ , 按(19)式计算

$$Q_9 = G_3 (I_1'' - I') \quad (19)$$

式中: G_3 ——小放汽排汽量, kJ ;

I_1'' ——排汽相对温度时压力蒸汽焓值, kJ/kg 。

4.6.5 管道散热损失 Q_{10} , kJ , 按(20)式计算

$$Q_{10} = Q_{yx} \cdot 5\% \quad (20)$$

4.6.6 其他热耗 Q_{11} , kJ , 按(21)式计算

$$Q_{11} = Q_{GG} - Q_{yx} - (Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10}) \quad (21)$$

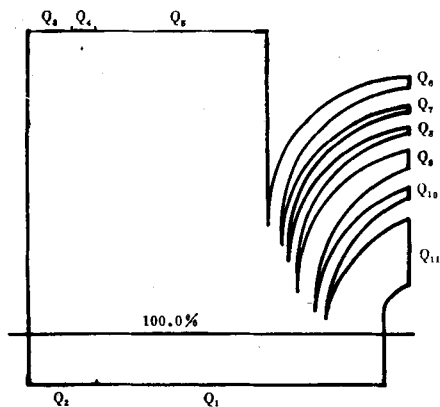
4.7 蒸球热能效率 η , %, 按(22)式计算

$$\eta = \frac{Q_{yx}}{Q_{GG}} \times 100\% \quad (22)$$

5 蒸球能量平衡表

序号	输入能量			输出能量		
	项目	数值 kJ	百分数 %	项目	数值 kJ	百分数 %
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
	合 计		100	合 计		100

6 蒸球能量流图



附录 A

蒸球能量平衡及热效率计算实例

(参考件)

A1 蒸煮一球苇浆的能量平衡数据

A1.1 原料

装球原料风干重	$G' = 4000 \text{ kg}$
原料水分重	$G_4 = 600 \text{ kg}$
原料比热	$c_3 = 1.423 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
水的比热	$c_4 = 4.187 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

A1.2 蒸煮器

蒸煮器容积	$V = 25 \text{ m}^3$
蒸球钢板厚	$\delta_1 = 0.016 \text{ m}$
蒸球钢板质量	$G_6 = 12500 \text{ kg}$
钢板比热	$c_6 = 0.481 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
保温层厚度	$\delta_2 = 0.05 \text{ m}$
保温层质量	$G_7 = 2600 \text{ kg}$
保温层比热	$c_7 = 0.92 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
保温层外表面积	$F = 44.9 \text{ m}^2$

A1.3 蒸汽

总耗汽量	$G_1 = 3000 \text{ kg}$
蒸汽压力	$P = 6.5 \times 10^5 \text{ Pa}$
蒸汽温度	$t' = 180 \text{ }^\circ\text{C}$
蒸汽焓值	$I'' = 2791.2 \text{ kJ/kg}$
小放汽排汽量	$G_9 = 200 \text{ kg}$
排汽温度	$t'' = 155(\text{饱和状态}) \text{ }^\circ\text{C}$
排蒸汽焓值	$I'_t = 2752.1 \text{ kJ/kg}$

A1.4 蒸煮液

蒸煮液质量	$G_2 = 9300 \text{ kg}$
蒸煮液比热	$c_2 = 3.805 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
粗浆得率	$P = 47\%$

A1.5 温度

环境温度	$t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
蒸煮开始温度	$t_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$
蒸煮最高温度	$t_3 = 165 \text{ }^\circ\text{C}$
环境状态下的焓	$I' = 104.9 \text{ kJ/kg}$
球体钢板装料时温度	$t_6 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$
球体保温层装料时温度	$t_7 = 82 \text{ }^\circ\text{C}$

物料即将喷完时温度 $t_c = 85^\circ\text{C}$

A1.6 时间

升温阶段时间 $Z_a = 1.5 \text{ h}$

保温阶段时间 $Z_b = 1.5 \text{ h}$

喷放料时间 $Z_c = 0.6 \text{ h}$

A1.7 有关参数

钢导热系数 $\lambda_1 = 43.2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K})$

保温材料导热系数 $\lambda_2 = 0.174 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K})$

球内蒸煮物对球内壁换热系数 $\alpha_1 = 5.81 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K})$

球外层对周围空间换热系数 $\alpha_2 = 11.6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K})$

A2 供给蒸煮实际总热量 Q_{GG} 的计算

$$Q_{GG} = Q_1 + Q_2$$

A2.1 供给蒸煮用热量 Q_1 的计算

$$Q_1 = G_1(I'' - I')$$

$$= 3000 \times (2791.2 - 104.9) = 8058900 \text{ kJ}$$

A2.2 药液加入前加热耗热量 Q_2 的计算

$$Q_2 = G_2 \cdot c_2(t_2 - t)$$

$$= 9300 \times 3.805 \times (80 - 25) = 1946257.5 \text{ kJ}$$

$$Q_{GG} = Q_1 + Q_2 = 10005157.5 \text{ kJ}$$

A3 供给蒸煮单位耗热量 Q'_{GG} 的计算

$$Q'_{GG} = \frac{Q_{GG}}{G \cdot P} = \frac{10005157.5}{4000 \times 0.47} = 5321.89 \text{ kJ}$$

A4 蒸煮有效耗热量 Q_{yx} 的计算

$$Q_{yx} = Q_3 + Q_4 + Q_5$$

A4.1 加热绝干原料用热量 Q_3 的计算

$$Q_3 = G_3 \cdot c_3(t_3 - t)$$

$$= 4000 \times (1 - 15\%) \times 1.423 \times (165 - 25) = 676872 \text{ kJ}$$

A4.2 加热原料中水分用热量 Q_4 的计算

$$Q_4 = G_4 \cdot c_4(t_3 - t)$$

$$= 4000 \times 0.15 \times 4.187 \times (165 - 25) = 351708 \text{ kJ}$$

A4.3 加热药液用热量 Q_5 的计算

$$Q_5 = G_2 \cdot c_2(t_3 - t)$$

$$= 9300 \times 3.805 \times (165 - 25) = 4954110 \text{ kJ}$$

$$Q_{yx} = Q_3 + Q_4 + Q_5 = 5982690$$

A5 蒸煮有效单位耗热量的计算

$$Q'_{yx} = \frac{Q_{yx}}{G \cdot P} = \frac{5982690}{4000 \times 0.47} = 3182.28 \text{ kJ}$$

A6 蒸煮过程中热损失 Q_{ss} 的计算

$$Q_{ss} = Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10} + Q_{11}$$

A6.1 加热球体耗热量 Q_6 的计算

$$\begin{aligned} Q_6 &= G_6 \cdot c_6 (t_6 - t) \\ &= 12500 \times 0.481 \times (70 - 25) = 270562.5 \text{ kJ} \end{aligned}$$

A6.2 加热保温层耗热量 Q_7 的计算

$$\begin{aligned} Q_7 &= G_7 \cdot c_7 (t_7 - t) \\ &= 2600 \times 0.92 (82 - 25) = 136344 \text{ kJ} \end{aligned}$$

A6.3 球体散热 Q_8 的计算

$$Q_8 = Q_{8a} + Q_{8b} + Q_{8c} \quad (Q_8 = F \cdot K (\theta - t) \cdot Z)$$

$$\begin{aligned} Q_{8a} &= F \cdot K \left(\frac{t_3 + t_2}{2} - t \right) \cdot Z_a \\ &= 44.9 \times \frac{1}{\frac{1}{5810} + \frac{0.016}{43.2} + \frac{0.05}{0.1742} + \frac{1}{11.6}} \times 3.5965 \times \left(\frac{165 + 80}{2} - 25 \right) \times 1.5 = 63222 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$Q_{8b} = F \cdot K (t_3 - t) \cdot Z_b = 44.9 \times 2.667 \times 3.5965 \times (165 - 25) \times 1.5 = 90781 \text{ kJ}$$

$$Q_{8c} = \frac{1}{2} F \cdot K \left(\frac{t_s + t_0}{2} - t \right) \cdot Z_c = \frac{44.9}{2} \times 2.677 \times 3.5965 \times \left(\frac{165 + 85}{2} - 25 \right) \times 0.6 = 12969 \text{ kJ}$$

$$Q_8 = Q_{8a} + Q_{8b} + Q_{8c} = 63222 + 90781 + 12969 = 166972 \text{ kJ}$$

A6.4 小放汽散热 Q_9 的计算

$$Q_9 = G_9 (I'' - I') = 200 \times (2752.1 - 104.9) = 529440 \text{ kJ}$$

A6.5 管道散热 Q_{10} 的计算

$$Q_{10} = Q_{yx} \cdot 5\% = 5982690 \times 0.05 = 299134.5 \text{ kJ}$$

A6.6 其他热损失 Q_{11} 的计算

$$\begin{aligned} Q_{11} &= Q_{GG} - Q_{yx} - (Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10}) \\ &= 10005157.5 - 5982690 - (270562.5 + 136344 + 166972 + 529440 + 299134) \\ &= 2620015 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$Q_{ss} = Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10} + Q_{11}$$

$$= 270562.5 + 136344 + 166972 + 529440 + 299134 + 2620015 = 4022467.5 \text{ kJ}$$

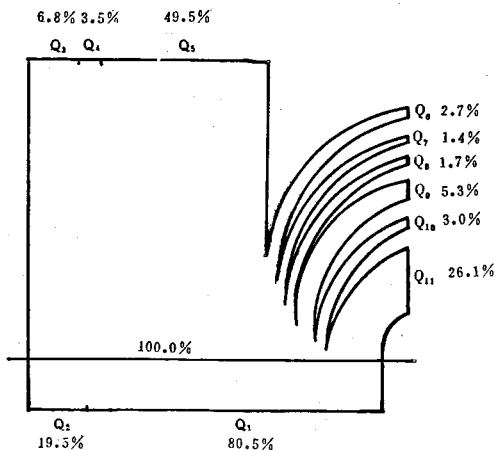
A7 蒸球热效率 η 的计算

$$\eta = \frac{Q_{yx}}{Q_{GG}} \times 100\% = \frac{5982690}{10005157.5} \times 100\% = 59.8\%$$

A8 蒸球能量平衡表

输 入 能 量				输 出 能 量		
序号	项 目	数 值 kJ	百 分 数 %	项 目	数 值 kJ	百 分 数 %
1	供给蒸煮用热	8058900	80.5			
2	药液加入前加热耗热	1946257.5	19.5			
3				加热绝干原料用热	676872	6.8
4				加热原料中水分用热	351708	3.5
5				加热药液用热	4954110	49.5
6				加热球体耗热	270562.5	2.7
7				加热保温层耗热	136344	1.4
8				球体散热	166972	1.7
9				小放汽散热	529440	5.3
10				管道散热	299134	3.0
11				其他热耗	2620015	26.1
	合 计	10005157.5	100	合 计	10005157.5	100

A9 蒸球能流图



附加说明:

本标准由轻工业部造纸工业司提出。

本标准由汉阳造纸厂、上海新华造纸厂起草。

本标准主要起草人:李劲松、申功庆、胡宏亮、蒋建芬、杜华山、邹培昌、华天禄。