

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 1927.13-93

多效蒸发装置能量平衡及热效率计算方法

1 主题内容与适用范围

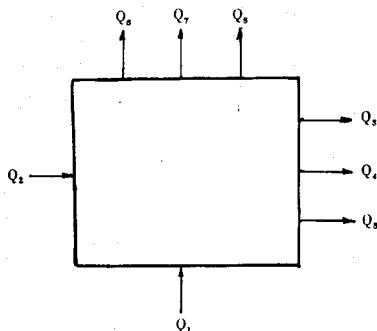
本标准规定了多效蒸发装置能量平衡及热效率的计算方法。

本标准适用于制浆造纸企业碱回收黑液多效蒸发装置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 能量平衡方框图的边界

体系是以稀黑液和加热蒸汽进口开始至浓黑液出口及各效冷凝水和末效二次蒸汽出口为本体系的边界。

3.2 能量平衡图中符号的意义

Q_1 ——加热蒸汽带入热量；

Q_2 ——稀黑液带入热量；

Q_3 ——浓黑液带出热量；

Q_4 ——I效至末效总的混合污冷凝水带出热量；

Q_5 ——末效蒸发出的二次蒸汽带出热量；

Q_6 ——加热蒸汽冷凝水带走热量;

Q_7 ——设备散热损失热量;

Q_8 ——不凝气及其他损失热量。

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 加热蒸汽带入热量 Q_1 , kJ/h, 按公式(1)计算

$$Q_1 = G_1(i'' - i') \quad (1)$$

式中: G_1 ——加热蒸汽总用热量, kg/h;

i'' ——加热蒸汽的热焓, kJ/kg;

i' ——环境温度下水的热焓, kJ/kg。

4.1.2 稀黑液带入热量 Q_2 , kJ/h, 按公式(2)计算

$$Q_2 = G_2 \cdot c_2(t_2 - t) \quad (2)$$

式中: G_2 ——进效稀黑液总量, kg/h;

c_2 ——进效稀黑液比热, kJ/(kg · K);

t_2 ——进效稀黑液温度, °C;

t ——环境温度, °C。

4.2 输出热量

4.2.1 浓黑液带出热量 Q_3 , kJ/h, 按公式(3)计算

$$Q_3 = G_3 \cdot c_3(t_3 - t) \quad (3)$$

式中: G_3 ——出效浓黑液量, kg/h;

c_3 ——出效浓黑液比热, kJ/(kg · K);

t_3 ——出效浓黑液温度, °C;

t ——环境温度, °C。

4.2.2 I 效至末效总的混合污冷凝水带出热量 Q_4 , kJ/h, 按公式(4)计算

$$Q_4 = G_4 \cdot c_4(t_4 - t) \quad (4)$$

式中: G_4 ——I 效至末效总的混合污冷凝水量, kg/h;

c_4 ——I 效至末效总的混合污冷凝水比热, kJ/(kg · K);

t_4 ——I 效至末效总的混合污冷凝水温度, °C。

4.2.3 末效蒸发出的二次蒸汽带出热量 Q_5 , kJ/h, 按公式(5)计算

$$Q_5 = G_5(i_5'' - i') \quad (5)$$

式中: G_5 ——末效蒸发出的二次蒸汽量, kg/h;

i_5'' ——末效蒸发出的二次蒸汽的热焓, kJ/kg。

4.2.4 加热蒸汽冷凝水带走热量 Q_6 , kJ/h, 按公式(6)计算

$$Q_6 = G_6(i_6'' - i') \quad (6)$$

式中: G_6 ——加热蒸汽凝结水量, kg/h;

i_6'' ——加热蒸汽凝结水的热焓, kJ/kg。

4.2.5 设备散热损失热量 Q_7 , kJ/h, 按公式(7)计算

$$Q_7 = \sum F \cdot \alpha (t_7 - t) \dots\dots\dots (7)$$

式中: F ——每效蒸发器表面散热面积, m^2 ;

α ——保温层表面放热系数, $kJ/(m^2 \cdot K \cdot h)$;

对于表面不超过 $150^\circ C$ 时, 其 α 放热系数可以近似计算: $\alpha = 8.4 + 0.06(t_7 - t) \times 4.187$;

t_7 ——每一效蒸发器保温层外表平均温度, $^\circ C$ 。

4.2.6 不凝气及其他损失热量 Q_8 , kJ/h, 按公式(8)计算

$$Q_8 = (Q_1 + Q_2) - (Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7) \dots\dots\dots (8)$$

5 设备热效率计算

5.1 有效热量 Q_{YX} , kJ/h, 按公式(9)计算

$$Q_{YX} = Q_3 + (Q_4 + Q_5) - Q_2 \dots\dots\dots (9)$$

5.2 供给热量 Q_{GG} , kJ/h, 按公式(10)计算

$$Q_{GG} = Q_1 \dots\dots\dots (10)$$

5.3 损失热量 Q_{SS} , kJ/h, 按公式(11)计算

$$Q_{SS} = (Q_6 + Q_7 + Q_8) \dots\dots\dots (11)$$

5.4 多效蒸发装置正平衡热效率 η_E , kJ/h, 按公式(12)计算

$$\eta_E = \frac{Q_{YX}}{Q_{GG}} \times 100\% = \frac{Q_3 + (Q_4 + Q_5) - Q_2}{Q_1} \times 100\% \dots\dots\dots (12)$$

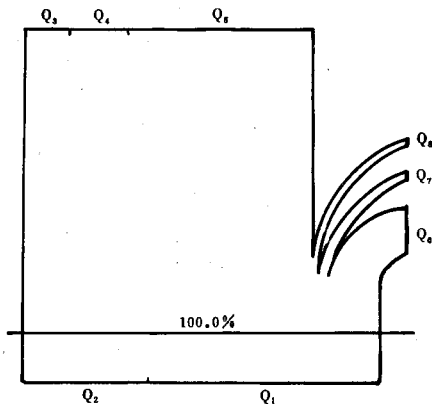
5.5 多效蒸发装置反平衡热效率 η_R , kJ/h, 按公式(13)计算

$$\eta_R = (1 - \frac{Q_{SS}}{Q_{GG}}) \times 100\% = (1 - \frac{Q_6 + Q_7 + Q_8}{Q_1}) \times 100\% \dots\dots\dots (13)$$

6 能量平衡表

序号	输入能量			输出能量		
	项 目	数 值 kJ/h	百分数 %	项 目	数 值 kJ/h	百分数 %
1	加热蒸汽带入热量 Q_1					
2				浓黑液带出热量 Q_3		
3				Ⅱ效至末效总混合污冷凝水带出热量 Q_4		
4				末效蒸发出的二次蒸汽带出热量 $Q_5 - Q_2$		
5				加热蒸汽冷凝水带走热量 Q_6		
6				设备散热损失热量 Q_7		
7				不凝气及其他损失热量 Q_8		
	合 计		100	合 计		100

7 能量流向图



附录 A

多效蒸发装置能量平衡及热效率计算实例

(参考件)

A1 五效蒸发装置能量平衡测试数据

项 目	实 测 数 据				换算与查表数据			
	流 量 m ³ /h 或 t/h	压 力 MPa	温 度 ℃	浓 度 (Be' 直测)	热 焓 kJ/kg	密 度 t/m ³	比 热 kJ/(kg·K)	固形物 %
加热蒸汽	12.8	0.28			2739.172			
进效稀黑液	80		87	(7.8)		1.087	3.806	16.52
出Ⅴ效半浓液	42		74.5	(17.0)		1.162	3.500	29.83
进Ⅰ效半浓液	42		74	(17.0)		1.162	3.500	29.83
出Ⅰ效浓黑液			102	(30.5)		1.321	2.952	53.69
加热蒸汽冷凝水		0.126	124		519.16			
Ⅰ效至Ⅴ效总的混合污冷凝水			70					
末效二次蒸汽		0.02			2591.16			
环境温度			25					

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 加热蒸汽带入热量 Q_1

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

$$Q_1 = 12.8 \times 10^3 \times (2739.17 - 104.67) = 33721.6 \times 10^3 \text{ kJ/h}$$

A3.1.2 稀黑液带入热量 Q_2

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

式中进效稀黑液总质量 G_2 的换算:

$$G_2 = V \cdot d = 80 \text{ m}^3/\text{h} \times 1.087 \text{ t/m}^3 = 86.96 \text{ t/h}$$

$$Q_2 = 86.96 \times 10^3 \times 3.806 \times (87 - 25) = 20520.13 \times 10^3 \text{ kJ/h}$$

A4 输出能量

A4.1 浓黑液带出热量 Q_3

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

式中出Ⅰ效浓黑液质量 G_3 的计算:

$$G_3 = V_0 \cdot d_0 \cdot \frac{b_H}{b_k}$$

式中: V_0 ——进 I 效半浓液流量, $42\text{m}^3/\text{h}$;

d_0 ——半浓液密度, $1.162\text{t}/\text{m}^3$;

b_H ——进 I 效半浓液浓度, 29.83% ;

b_k ——出 II 效浓液浓度, 53.69% 。

$$G_3 = 42 \times 1.162 \times \frac{29.83}{53.69} = 27.115\text{t}/\text{h}$$

$$Q_3 = 27.115 \times 10^3 \times 2.952 \times (102 - 25) = 6163.348 \times 10^3 \text{ kJ}/\text{h}$$

A4.2 II 效至末效总的混合污冷凝水带出热量 Q_4

$$Q_4 = G_4 \cdot c_4 (t_4 - t)$$

式中 I 效至 V 效总的混合污冷凝水量 G_4 的计算:

若因由 I 效至末效的各效蒸发出来的二次蒸汽(或水)量测定暂时有困难,可按进出效浓度变化进行计算。考虑到蒸发流程系混流式;稀黑液主要先进 III 效,部分稀黑液按比例补充进 IV 效和 V 效,原设计意图保持后三效蒸发量相同;由 V 效出来的半浓液再转入前两效(I、II 效),故分两段计算。

A4.2.1 III ~ V 效每效平均蒸发水量 $G_{I \sim V}$

$$G_{I \sim V} = \frac{G(1 - \frac{b_H}{b_k})}{3}$$

式中: G ——进效稀黑液量, $80\text{m}^3/\text{h}$;

b_H ——进效稀黑液浓度, 16.52% ;

b_k ——出 V 效半浓液浓度, 29.83% 。

$$G_{I \sim V} = \frac{80 \times 1.087 \times 10^3 \times (1 - \frac{0.1652}{0.2983})}{3} = 12.934 \times 10^3 \text{ kg}/\text{h}$$

A4.2.2 I 至 II 效每效平均蒸发水 $G_{I \sim II}$

$$G_{I \sim II} = \frac{V_0 \cdot d_0 - G_3}{2}$$

式中: V_0 ——进效半浓液流量, $42\text{m}^3/\text{h}$;

d_0 ——半浓液密度, $1.162\text{t}/\text{m}^3$;

G_3 ——出 I 效浓黑液量, $27.1\text{t}/\text{h}$ 。

$$G_{I \sim II} = \frac{(42 \times 1.162 - 27.1) \times 10^3}{2} = 10.844 \times 10^3 \text{ kg}/\text{h}$$

$$\begin{aligned} A4.2.3 \quad G_4 &= G_I + G_{II} + G_{III} + G_V = (10.844 + 12.934 + 12.934 + 12.934) \times 10^3 \\ &= 49.646 \times 10^3 \text{ kg}/\text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_4 &= G_4 \cdot c_4 (t_4 - t) = 49.646 \times 10^3 \times 4.187 \times (70 - 25) \\ &= 9354.051 \times 10^3 \text{ kJ}/\text{h} \end{aligned}$$

A4.3 末效(V 效)蒸发出的二次蒸发带出热量 Q_5

$$\begin{aligned} Q_5 &= G_5 (i_5'' - i') = 12.934 \times 10^3 \times (2591.16 - 104.670) \\ &= 32160.262 \times 10^3 \text{ kJ}/\text{h} \end{aligned}$$

A4.4 加热蒸汽冷凝水带走热量 Q_6

$$Q_6 = G_6(i_6'' - i') = 12.8 \times 10^3 \times (519.16 - 104.670) \\ = 5305.472 \times 10^3 \text{ kJ/h}$$

A4.5 设备散热损失热量 Q_7

$$Q_7 = \sum F \cdot \alpha(t_f - t)$$

Q_7 此项设备散热损失,如果现场测试暂时有困难,也可以取设计参数计算。因多效蒸发装置运行状况较稳定,如果保温良好,根据绝热质量不同,此项热损失可以选取1%~3%,本例取2.0%计算。

$$Q_7 = 2.0\% \times (Q_1 + Q_2) = 0.02 \times (33721.6 + 20520.13) \times 10^3 \\ = 1084.835 \times 10^3 \text{ kJ/h}$$

A4.6 不凝气及其他损失热量 Q_8

$$Q_8 = (Q_1 + Q_2) - (Q_3 + Q_4 + Q_5) - (Q_6 + Q_7)$$

$$Q_8 = (33721.6 + 20520.13) \times 10^3 - (6163.348 + 9354.051 + 32160.262) \times 10^3 \\ - (5305.472 + 1084.835) \times 10^3 \\ = 54241.731 \times 10^3 - 47677.661 \times 10^3 - 6390.307 \times 10^3 \\ = 173.762 \times 10^3 \text{ kJ/h}$$

A5 多效(五效)蒸发装置热效率计算

A5.1 有效热量 Q_{YX}

$$Q_{YX} = Q_3 + (Q_4 + Q_5) - Q_2 \\ = (6163.348 + 9354.051 + 32160.262 - 20520.13) \times 10^3 = 2715.531 \times 10^3 \text{ kJ/h}$$

A5.2 供给热量 Q_{GG}

$$Q_{GG} = Q_1 = 33721.6 \times 10^3 \text{ kJ/h}$$

A5.3 损失热量 Q_{SS}

$$Q_{SS} = Q_6 + Q_7 + Q_8 \\ = (5305.472 + 1084.835 + 173.762) \times 10^3 \\ = 6564.069 \times 10^3 \text{ kJ/h}$$

A5.4 多效(五效)蒸发装置正平衡热效率 η_1

$$\eta_1 = \frac{Q_{YX}}{Q_{GG}} \times 100\% = \frac{Q_3 + (Q_4 + Q_5) - Q_2}{Q_1} \times 100\% \\ = \frac{(6163.348 + 9354.051 + 32160.262 - 20520.13) \times 10^3}{33721.6 \times 10^3} \times 100\% \\ = 80.53\%$$

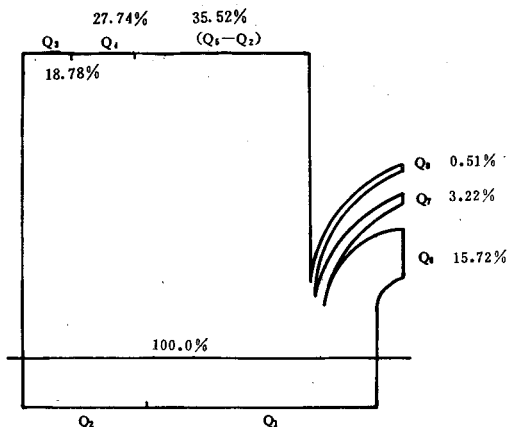
A5.5 多效(五效)蒸发装置反平衡热效率 η_2

$$\eta_2 = (1 - \frac{Q_6 + Q_7 + Q_8}{Q_1}) \times 100\% \\ = (1 - \frac{(5305.472 + 1084.835 + 173.762) \times 10^3}{33721.6 \times 10^3}) \times 100\% \\ = (1 - 0.19460) \times 100\% \\ = 80.54\%$$

A6 多效(五效)蒸发装置能量平衡表

序号	输入能量			输出能量		
	项 目	数 值 kJ/h	百分数 %	项 目	数 值 kJ/h	百分数 %
1	加热蒸汽带入热量 Q_1	33721.6×10^3	100			
2				浓黑液带出热量 Q_3	6163.348×10^3	18.28
3				I 效至末效总混合污冷凝水带出热量 Q_4	9354.051×10^3	27.74
4				末效蒸发出的二次蒸汽带出热量 $Q_5 - Q_2$	11640.132×10^3	34.52
5				加热蒸汽冷凝水带走热量 Q_6	5305.472×10^3	15.72
6				设备散热损失热量 Q_7	1084.835×10^3	3.22
7				不凝气及其他损失热量 Q_8	173.762×10^3	0.51
	合 计	33721.600×10^3	100	合 计	33721.600×10^3	100

A7 能量流向图



A8 关于比热、密度、固形物换算等有关参数可查阅《造纸工作者手册》、《碱回收技术参考资料》、《造纸工业碱回收》等资料,均有草浆、木浆、竹浆等各种原料的黑液不同性质的有关参数。

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。