

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 1927.12-93

造纸机能量平衡及热效率计算方法

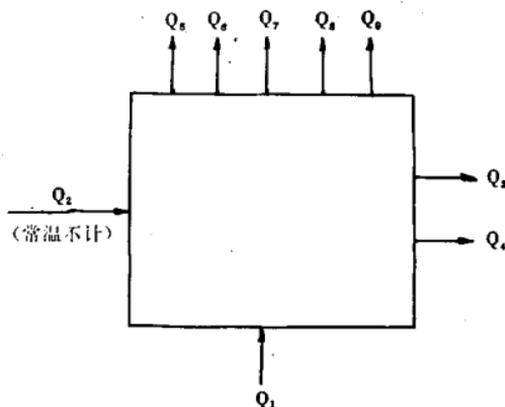
1 主题内容与适用范围

本标准规定了制浆造纸企业造纸机(涂布机、压光机)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造纸机(涂布机、压光机)能量平衡的测试和热效率的计算。

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

体系从纸浆进入造纸机网前箱开始至抄造成纸张止。

3.2 能量平衡图中符号的意义

- Q_1 ——实际供给造纸机的总热量, kJ/kg;
 Q_2 ——纸浆进造纸机带入的热量, kJ/kg;
 Q_3 ——蒸发纸页水分至规定干度耗热量, kJ/kg;
 Q_4 ——加热纸页至规定干燥温度耗热量, kJ/kg;
 Q_5 ——烘缸散热损失, kJ/kg;
 Q_6 ——干毯(干网)散热损失, kJ/kg;

Q_7 ——冷凝水排出热量损失, kJ/kg;

Q_8 ——管道散热损失, kJ/kg;

Q_9 ——其他热损失, kJ/kg。

3.3 能量平衡计算单位

本体系能量平衡均以每千克成品纸张的耗热量进行计算。

4 能量平衡的计算

4.1 实际供给造纸机单位产量总热量 Q'_{GG} , kJ/kg, 按(1)式计算

$$Q'_{GG} = Q_1 + Q_2 \dots\dots\dots (1)$$

4.1.1 实际供给造纸机热量 Q_1 , kJ/kg, 按(2)式计算

$$Q_1 = \frac{1}{G_p} \sum_{n=1}^m D_n \cdot (i''_n - i_0) \dots\dots\dots (2)$$

式中: G_p ——造纸机每小时产量, kg/h;

D_n ——供给蒸汽的量, kg/h;

i''_n ——供给蒸汽的热焓, kJ/kg;

i_0 ——环境温度下水的热焓, kJ/kg;

n ——造纸机(涂布机、压光机)各用汽部分。

造纸机用蒸汽包括网部、压榨部、干燥部、表面施胶、涂布、压光机等各部分用汽, 可能有几个蒸汽计量表具供给造纸机或几个进汽蒸汽参数, 应分为 n 部分用汽, 均按公式(2)计算。

4.1.2 纸浆进入造纸机带入热量 Q_2 , kJ/kg, 按(3)式计算

$$Q_2 = [T_{a1} \cdot c_c + (1 - T_{a1}) \cdot c_w] \cdot (t_1 - t_0) \dots\dots\dots (3)$$

式中: T_{a1} ——进入造纸机纸浆的浓度, %;

c_c ——纤维比热, 取 1.423 kJ/(kg·K);

c_w ——水的比热, 取 4.187 kJ/(kg·K);

t_1 ——进入造纸机的纸浆温度, °C;

t_0 ——环境温度, °C。

注: 摄氏温度(°C)之差与热力学温度(K)之差相等。

4.2 纸张单位产量有效耗热量 Q'_{yx} , kJ/kg, 按(4)式计算

$$Q'_{yx} = Q_3 + Q_4 \dots\dots\dots (4)$$

4.2.1 蒸发纸页水分至规定干度耗热量 Q_3 , kJ/kg, 按(5)式计算

$$Q_3 = \sum_{n=1}^m \frac{T_{en} - T_{an}}{T_{an}} (i''_a - i_n) \dots\dots\dots (5)$$

式中: T_{en} ——某蒸发部出口纸页的干度, %;

T_{an} ——该蒸发部入口纸页的干度, %;

i''_a ——常压下水蒸汽的热焓, kJ/kg;

i_n ——该蒸发部入口纸页中水分的热焓, kJ/kg。

造纸机在抄纸过程中一般仅一次干燥过程, 有些造纸机有表面施胶、涂布等多次干燥过程可分为 n 个干燥部分, 均按公式(5)计算。

4.2.2 加热纸页至规定干燥温度耗热量 Q_4 , kJ/kg, 按(6)式计算

$$Q_4 = \sum_{n=1}^m [T_{en} \cdot c_c + (1 - T_{en}) \cdot c_w] \cdot (t_{n2} - t_{n1}) \dots\dots\dots (6)$$

式中: t_{n2} ——某干燥部纸页水分蒸发温度(取 100), °C;

t_{n1} ——该干燥部入口纸页温度, °C。

造纸机在抄纸过程中一般仅一次干燥过程, 有些造纸机有表面施胶、涂布等多次干燥过程可分为 n 个干燥部分, 均按公式(6)计算。

4.3 纸张总损失热量 Q'_{ss} , kJ/kg, 按(7)式计算

$$Q'_{ss} = Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 \dots\dots\dots (7)$$

4.3.1 烘缸散热损失 Q_5 , kJ/kg, 按(8)式计算

$$Q_5 = \frac{K_a \cdot F_a}{G_p} (t_a - t_0) \dots\dots\dots (8)$$

式中: K_a ——烘缸散热系数, kJ/(m² · h · K);

F_a ——烘缸散热面积, m²;

t_a ——烘缸辐射面平均温度, °C。

4.3.1.1 烘缸散热系数 K_a , kJ/(m² · h · K), 按(9)式计算

$$K_a = \alpha_a + \frac{\epsilon_a}{t_a - t_0} \left[\left(\frac{273 + t_a}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + t_0}{100} \right)^4 \right] \dots\dots\dots (9)$$

式中: α_a ——烘缸对流散热系数, kJ/(m² · h · K);

ϵ_a ——烘缸辐射常数(取 13.4~15.9), kJ/(m² · h · K)。

4.3.1.2 烘缸对流散热系数 α_a , kJ/(m² · h · K), 按(10)式计算

$$\alpha_a = a + bv^n \dots\dots\dots (10)$$

式中: v ——烘缸平均线速, m/s。

当 $v \leq 5$ m/s 时, $\alpha_a = 22.19 + 15.07 \cdot v$;

当 $v > 5$ m/s 时, $\alpha_a = 27.09 \cdot v^{0.78}$ 。

4.3.1.3 烘缸散热面积 F_a , m², 按(11)式计算

$$F_a = 3.14 \cdot N \left[\left(1 - \frac{\theta}{360} \right) \cdot d \cdot B + \frac{1}{2} d^2 \right] \dots\dots\dots (11)$$

式中: N ——烘缸只数;

θ ——干毯(干网)与烘缸的接触弧度, (°);

d ——烘缸直径, m;

B ——烘缸面宽, m。

4.3.2 干毯(干网)散热损失 Q_6 , kJ/kg, 按(12)式计算

$$Q_6 = \frac{K_b \cdot F_b}{G_p} \cdot (t_{b1} - t_0) \dots\dots\dots (12)$$

式中: K_b ——干毯(干网)散热系数;

F_b ——干毯(干网)散热面积, m²;

t_{b1} ——干毯(干网)表面平均温度, °C。

4.3.2.1 干毯(干网)散热系数 K_b , kJ/(m² · h · K), 按(13)式计算

$$K_b = \alpha_b + \frac{\epsilon_b}{t_b - t_0} \left[\left(\frac{273 + t_b}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + t_0}{100} \right)^4 \right] \dots\dots\dots (13)$$

- 式中: t_b ——干毯(干网)表面平均温度,℃;
 α_b ——干毯(干网)对流散热系数〔参照(10)式计算〕;
 ϵ_b ——干毯(干网)辐射常数(取 16.2),kJ/(m²·h·K)。

4.3.2.2 干毯(干网)冷却面积 F_b ,m²,按(14)式计算

$$F_b = 2A_1 \cdot B_2 - \frac{\theta}{360} \cdot \pi \cdot d \cdot B_1 \cdot N \dots\dots\dots (14)$$

- 式中: A_1 ——干毯(干网)总长度,m;
 B_2 ——干毯(干网)宽,m。

4.3.3 冷凝水排出热量 Q_7 ,kJ/kg,按(15)式计算

$$Q_7 = \frac{D_w}{G_p} (i' - i_0) \dots\dots\dots (15)$$

- 式中: D_w ——冷凝水排出量,kg/h;
 i' ——冷凝水的热焓,kJ/kg;
 i_0 ——环境温度下水的热焓,kJ/kg。

4.3.4 管道散热损失 Q_8 ,kJ/kg,按(16)式计算

$$Q_8 = \frac{2\pi L(t_c - t_a)}{G_p \left(\frac{1}{\lambda} \ln \frac{d_o}{d_i} + \frac{2}{\alpha d_o} \right)} \dots\dots\dots (16)$$

- 式中: L ——管道当量长度,m;
 λ ——保温材料导热系数,kJ/m·K;
 d_o ——保温材料外径,m;
 d_i ——保温材料内径,m;
 α ——保温层外表向大气的放热系数(取 9.21~11.72),kJ/(m²·h·K);
 t_c ——管道内介质温度,℃。

注:如果测试困难,该损失拟取造纸机总有效热量的 4%~6%。

4.3.5 其他热损失 Q_9 ,kJ/kg,按(17)式计算

$$Q_9 = Q'_{GG} - Q'_{yx} - (Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8) \dots\dots\dots (17)$$

5 造纸机热效率计算

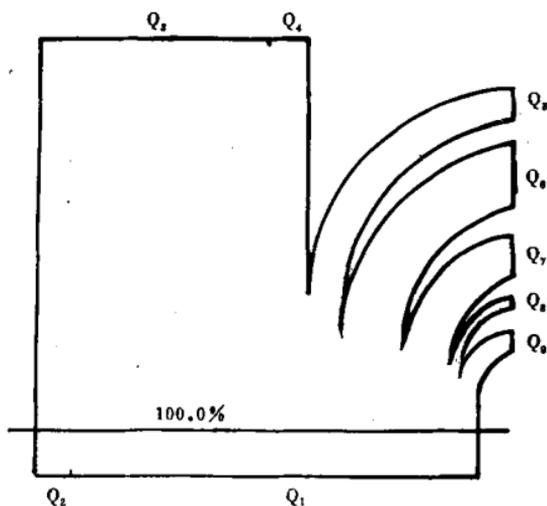
造纸机热效率按(18)式计算

$$\eta = \frac{Q'_{yx}}{Q'_{GG}} \times 100\% = \frac{Q_2 + Q_3}{Q_1} \times 100\% \dots\dots\dots (18)$$

6 造纸机能量平衡表

序号	输入能量			输出能量		
	项目	数量 kJ/kg	%	项目	数量 kJ/kg	%
	合计			合计		

7 造纸机能流图



附录 A
造纸机能量平衡及热效率计算实例
(参考件)

A1 测试数据

序号	测试项目	符号	单位	数据	数据来源
1	造纸机产量	G_p	kg/h	1349	称重法
2	供给蒸汽量	D_1	kg/h	3896	流量计
3	供给饱和蒸汽压力	P_d	MPa	0.28	压力表
4	蒸汽干度	X	%	96	实测
5	供给饱和蒸汽的焓	i_n'	kJ/kg	2723.93	查表
6	供给蒸汽中水的焓	i_n	kJ/kg	558.52	查表
7	常压下水蒸汽的焓	i_n''	kJ/kg	2674.53	查表
8	环境温度下水的焓	i_0	kJ/kg	71.18	查表
9	环境温度	t_0	°C	17	温度计
10	纤维比热	c_c	kJ/(kg·K)	1.423	查表
11	水的比热	c_w	kJ/(kg·K)	4.187	查表
12	干燥部入口纸页干度	T_x	%	41.40	水分测试法
13	干燥部出口纸页干度	T_e	%	97.23	水分测试法
14	烘缸辐射面平均温度	t_s	°C	85	温度计
15	对流换热常数	α	kJ/(m ² ·h·K)	10	查表
16	烘缸辐射常数	e_s	kJ/(m ² ·h·K)	14	查表
17	干毯辐射常数	e_b	kJ/(m ² ·h·K)	16.2	查表
18	干毯表面平均温度	t_b	°C	52	点温计
19	烘缸只数	N	只	40	
20	烘缸直径	d	m	1.25	
21	烘缸面宽	B	m	2.3	
22	烘缸与干毯的接触弧度	θ	(°)	235	
23	干毯宽	B_2	m	2.1	
24	干毯总长	A_1	m	225	
25	冷凝水温度	t	°C	95	温度计
26	冷凝水的焓	i	kJ/kg	397.75	查表
27	造纸机车速	v	m/min	180	

A2 计算公式**A2.1 实际供给造纸机热量 Q_1 的计算**

$$Q_1 = \frac{1}{G_p} D_1 [X i_1'' + (1-X) i_1 - i_0]$$

$$= \frac{1}{1349} \times 3896 \times [0.96 \times 2723.93 + (1-0.96) \times 558.52 - 71.18]$$

$$= 7411.16 \text{ kJ/kg}$$

A2.2 蒸发纸页水分至规定干度耗热量 Q_3 的计算

$$Q_3 = \frac{T_s - T_s'}{T_s} (i_s'' - i_0) = \frac{0.9723 - 0.414}{0.414} \times (2674.53 - 71.18) = 3510.75 \text{ kJ/kg}$$

A2.3 加热纸页至规定干燥温度耗热量 Q_4 的计算

$$Q_4 = [T_s \cdot c_c + (1-T_s) \cdot c_w] \cdot (t_2 - t_0)$$

$$= [0.9723 \times 1.423 + (1-0.9723) \times 4.187] \times (100-17)$$

$$= 124.46 \text{ kJ/kg}$$

A2.4 烘缸散热损失 Q_5 的计算**A2.4.1 烘缸对流散热系数 α_a 的计算**

$$\alpha_a = 22.19 + 15.07v = 22.19 + 15.07 \times \left(\frac{180}{2 \times 60}\right) = 44.8 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K})$$

A2.4.2 烘缸散热系数 K_a 的计算

$$K_a = \alpha_a + \frac{\epsilon_a}{t_s - t_0} \cdot \left[\left(\frac{273+t_s}{100}\right)^4 - \left(\frac{273+t_0}{100}\right)^4 \right]$$

$$= 44.8 + \frac{14}{85-17} \times \left[\left(\frac{273+85}{100}\right)^4 - \left(\frac{273+17}{100}\right)^4 \right] = 64.06 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K})$$

A2.4.3 烘缸散热面积 F_a 的计算

$$F_a = 3.14N \cdot \left[\left(1 - \frac{\theta}{360}\right) \cdot d \cdot B + \frac{1}{2}d^2 \right]$$

$$= 3.14 \times 40 \times \left[\left(1 - \frac{235}{360}\right) \times 1.25 \times 2.3 + \frac{1}{2} \times 1.25^2 \right]$$

$$= 223.51 \text{ m}^2$$

A2.4.4 烘缸散热损失 Q_5 的计算

$$Q_5 = \frac{K_a \cdot F_a}{G_p} \cdot (t_s - t_0) = \frac{64.06 \times 223.51}{1349} \times (85-17) = 721.74 \text{ kJ/kg}$$

A2.5 干毯散热损失 Q_6 的计算**A2.5.1 干毯对流散热系数 α_b 的计算**

$$\alpha_b = 22.19 + 15.07v = 22.19 + 15.07 \times \frac{180}{60} = 67.4 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K})$$

A2.5.2 干毯散热系数 K_b 的计算

$$K_b = \alpha_b + \frac{\epsilon_b}{t_b - t_0} \times \left[\left(\frac{273+t_b}{100}\right)^4 - \left(\frac{273+t_0}{100}\right)^4 \right]$$

$$= 67.4 + \frac{16.2}{52-17} \times \left[\left(\frac{273+52}{100}\right)^4 - \left(\frac{273+17}{100}\right)^4 \right]$$

$$= 86.3 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K})$$

A2.5.3 干毯散热面积 F_b 的计算

$$F_b = 2A \cdot B_2 - \frac{\theta}{360} \pi \cdot d \cdot B_1 \cdot N$$

$$= 2 \times 225 \times 2.1 - \frac{235}{360} \times 3.14 \times 1.25 \times 2.3 \times 40 = 709.28 \text{ m}^2$$

A2.5.4 干毯散热损失 Q_6 的计算

$$Q_6 = \frac{K_b \cdot F_b}{G_p} \cdot (t_b - t_0) = \frac{86.3 \times 709.28}{1349} \times (52 - 17)$$

$$= 1588.12 \text{ kJ/kg}$$

A2.6 冷凝水排出热量 Q_7 的计算

$$Q_7 = \frac{D_w}{G_p} \cdot (i' - i_0) = \frac{3896}{1349} \times (397.75 - 71.18)$$

$$= 943.16 \text{ kJ/kg}$$

A2.7 管道散热损失 Q_8 的计算

$$Q_8 = (Q_3 + Q_4) \times 0.06 = (3510.75 + 124.46) \times 0.06 = 218.11 \text{ kJ/kg}$$

A2.8 其他热损失 Q_9 的计算

$$Q_9 = Q_1 - (Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8)$$

$$= 7411.16 - (3510.75 + 124.46 + 721.74 + 1588.12 + 943.16 + 218.11)$$

$$= 304.82 \text{ kJ/kg}$$

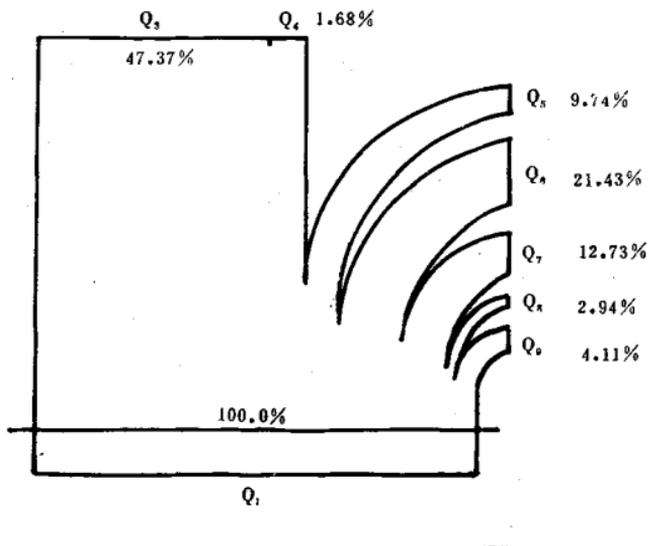
A2.9 造纸机热效率 η 的计算

$$\eta = \frac{Q_3 + Q_4}{Q_1} \times 100\% = \frac{3510.75 + 124.46}{7411.16} \times 100\% = 49.05\%$$

A3 造纸机能量平衡表

序号	输入能量			输出能量		
	项目	数量 kJ/kg	%	项目	数量 kJ/kg	%
1	实际供给造纸机总热量 Q_1	7411.16	100			
2				蒸发纸页水分至规定干度耗热量 Q_3	3510.75	47.37
3				加热纸页至规定干燥温度耗热量 Q_4	124.46	1.68
4				烘缸散热损失 Q_5	721.74	9.74
5				干毯散热损失 Q_6	1588.12	21.43
6				冷凝水排出热量损失 Q_7	943.16	12.73
7				管道散热损失 Q_8	218.11	2.94
8				其他热损失 Q_9	304.82	4.11
	合计	7411.16	100	合计	7411.16	100

A4 造纸机能流图



附加说明:

本标准由轻工业部造纸工业司提出。

本标准由全国造纸标准化中心归口。

本标准由上海造纸公司、佳木斯造纸厂、上海中国版纸厂负责起草。

本标准主要起草人: 华天禄、刘国邦、董祥、沈国良、李国富、花元兴、赵德宏、王学智、赵贵清。