

中华人民共和国医药行业标准

YY/T 0150—93

医药工业企业能量平衡规则

1 主题内容与适用范围

本标准规定了医药工业企业能量平衡的原则与计算方法。

企业能量平衡的目的是掌握企业的耗能情况、分析企业用能水平、查找企业的节能潜力、明确节能方向、为改进能源管理、实行节能技术改造、提高能源利用率提供科学依据。

本标准适用于生产原料药、制药中间体、制剂以及中草药加工的工业企业。

2 引用标准

- GB 2586 热量单位、符号与换算
- GB 2587 热设备能量平衡通则
- GB 2588 设备热效率计算通则
- GB 2589 综合能耗计算通则
- GB 3484 企业能量平衡通则
- GB 3794 企业能量平衡技术考核验收标准
- GB 6421 企业能流图绘制方法
- GB 8222 企业设备电能平衡通则
- GB 7119 评价企业合理用水技术通则
- GB/T 12452 企业水平衡与测试通则

3 企业能量平衡的定义

企业能量平衡是以企业为对象的能量平衡,包括各种能源的收入与支出的平衡,消耗与有效利用及损失之间的数量平衡。

4 企业能量平衡的原则方法

4.1 企业能量平衡采用测试计算与统计计算相结合的方法。采用自下而上的测试、计算、分析、汇总,对所取用的数据都要有依据。数据整理应根据测试所用仪表的本身精度按有效数字计算规则计算。

4.2 企业能量平衡统计计算按年度进行,以年平均环境温度为基准,以统计期内的计量和记录数据为基础进行综合计算,其结果反应实际的平均水平。

4.3 测试计算以主药耗能设备的测试数据,进行综合计算。其结果反映测试状况下的水平。

4.4 在企业能量平衡汇总时,对辅助和附属生产系统不计有效能量,只将其消耗的能量计入企业输入能量中。

辅助和附属生产系统的用能状况可参照能量平衡的原则,在本部门内部进行分析。

4.5 对产品所消耗能源的范围规定

4.5.1 企业实际消耗的各种能源是指:一次能源(原煤、原油、天然气等)和二次能源(电力、热力、焦炭等国家统计局规定的进行能源统计的各种品种)以及生产产品时使用的耗能工质(主要指外购水、氧气

国家医药管理局1993-12-08批准

1994-04-01实施

等)所消耗的能源。

所消耗的各种能源不得重记和漏记,存在供需关系时,能源(含工质)输入、输出双方在计算中量值上应保持一致。

4.5.2 产品实际消耗的各种能源系指消耗于生产活动中的各种能源,包括主要生产系统、辅助生产系统和附属生产系统用能,不包括生活用能和批准的基建项目用能。

4.5.3 在企业实际消耗的能源中,用做原料的能源也必须包括在内。

4.5.4 非主要生产系统用耗能工质不计算在内。如:维修耗能用的电石、氧气等。

5 企业能量平衡技术指标

5.1 产品单位产量综合能耗按 GB 2589 规定计算,是指生产某种产品其主要生产系统的综合能耗和企业能源购销过程中的损耗与企业内部进行能源转换及分配供应中的损耗,应分摊到该产品的综合能耗之和,除以同期产出的产品的合格品数量。

$$U_{cd} = \frac{\sum(E_{si} \cdot \rho_i) + \sum(E_{ui} \cdot \rho_i)}{N} \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中: U_{cd} ——产品的单位产量综合能耗,吨标煤/单位产量;

E_{si} ——主要生产系统所消耗的第 i 种能源实物量,实物单位/年(季或月);

ρ_i ——第 i 种能源的折标煤系数;

E_{ui} ——企业损耗第 i 种能源应分配到产品(或其他生产系统)的实物量;

N ——同期产出的该产品的合格品数量。

5.2 产品单位产量企业综合能耗是指生产该产品的主要生产系统、辅助和附属生产系统的综合能耗与企业能源购销过程中的损耗以及企业内部进行能源转换及分配中的损耗应分摊到产品的综合能耗之和,除以同期产品的合格品数量。

$$U_{cdq} = \frac{\sum[(E_{si} \cdot \rho_i) + (E_{ui} \cdot \rho_i) + (U_i + U'_i) \times \psi]}{N} \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中: U_{cdq} ——单位产品产量企业综合能耗;

U_i ——辅助生产系统的综合用能,吨标煤;

U'_i ——附属生产系统的综合能耗,吨标煤;

ψ ——间接能耗系数;

N ——同期产出的该产品的合格品数量。

辅助生产系统和附属生产系统的综合能耗分摊到某种产品上的比例系数是某种产品综合能耗与全部产品综合能耗的比值,称产品间接能耗系数。间接能耗系数 ψ 的计算:

$$\psi = \frac{U_j}{\sum U_j} \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中: U_j ——第 j 种产品综合能耗,吨标煤;

$\sum U_j$ ——全部产品综合能耗,吨标煤。

5.3 企业能源利用率

按式(4)计算:

$$\text{企业能源利用率}(\%) = \frac{\text{企业有效利用能量}}{\text{企业总综合能耗量}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中: 企业有效利用能量——指在企业实际消耗的能源中,终端利用所必须的能量。

5.4 设备效率

按式(5)、(6)计算:

$$\text{设备效率}(\%) = \frac{\text{有效能量}}{\text{供给能量}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(5)$$

或

$$\text{设备效率}(\%) = \left(1 - \frac{\text{损失能量}}{\text{供给能量}}\right) \times 100 \dots\dots\dots(6)$$

6 制药单元设备的能量平衡计算方法

6.1 反应设备

6.1.1 反应设备遇有加热升温、保温、冷却等几种操作在同一设备内连续进行时,建议分段分别计算。

6.1.2 当采用饱和蒸汽加热时,其输入热量为:加热蒸汽带入的热量和物料带入的热量。

加热蒸汽带入热量为:

$$Q_{zh} = D_{zh} \times \Delta H_{zh} \dots\dots\dots(7)$$

物料带入的热量为:

$$Q_{wl} = G_{wl} \times C_{wl} \times (t_{wl} - t_h) \dots\dots\dots(8)$$

式中: Q_{zh} ——加热蒸汽的带入的热量,kJ;

D_{zh} ——加热蒸汽的实际用量,kg;

ΔH_{zh} ——加热蒸汽进入设备时的焓与基准温度水的焓差,kJ/kg;

Q_{wl} ——物料带入的热量,kJ;

G_{wl} ——物料重量,kg;

C_{wl} ——物料比热,kJ/(kg·K);

t_{wl} ——物料温度,K;

t_h ——环境温度,K。

6.1.3 当采用饱和蒸汽加热时,其输出热量中的有效能量(有效热)为:

$$Q_{yx} = G_{wl} \times C_{wl} \cdot (t_z - t_s) \dots\dots\dots(9)$$

式中: Q_{yx} ——有效能量,kJ;

G_{wl} ——物料重量,kg;

C_{wl} ——物料的比热,kJ/(kg·K);

t_z ——升温终了时的温度,K;

t_s ——物料的初始温度,K。

在加热过程伴随有放热反应时,其有效热应为:

$$Q_{yx} = G_{wl} \times C_{wl} \cdot (t_z - t_s) - Q_{fy} \dots\dots\dots(10)$$

式中: Q_{fy} ——物料的反应热,kJ。

其他符号同式(9)。

6.1.4 输出的各项热损失:

在采用间接加热时包括:加热蒸汽的凝结水带走的热量,设备表面散热量,设备蓄热量等。

加热蒸汽的凝结水带走的热量:

$$Q_n = D_n \times \Delta H_n \dots\dots\dots(11)$$

式中: Q_n ——加热蒸汽凝结水带走的热量,kJ;

D_n ——凝结水的重量,间接加热时,它就是加热蒸汽的重量,kg;

ΔH_n ——被测的凝结水的焓与基准温度水的焓差,kJ/kg。

设备表面散热可用式(12)求出:

$$Q_{sr} = K \cdot F(t_b - t_h) \dots\dots\dots(12)$$

YY/T 0150—93

式中: Q_{sr} ——设备表面散热量, kJ;

F ——设备散热表面积, m^2 ;

t_b ——表面温度, K;

K ——系数;

室内壁面温度低于 350°C 时:

$$K = 8 + 0.05t_b$$

对露天布置的热工设备及保温体:

$$K = 10 + 6 \times \sqrt{W}$$

W ——风速(可按各地气象资料中平均风速选取), m/s 。

在间歇生产时,设备随物料升温同时,设备本体温度也随之变化,即自初始温度升高到反应物料的终了温度,这部分热量即称为设备的蓄热量,可用式(13)求出:

$$Q_x = G_{sh} \times C_{sh} \times \Delta t \quad \dots\dots\dots(13)$$

式中: Q_x ——设备蓄热量, kJ;

G_{sh} ——设备重量, kg;

C_{sh} ——设备材料的比热, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

Δt ——设备的温升, K。

在没有新的物理化学过程产生的情况下,一般物料处在保温段时不另计有效能量。

6.2 蒸发设备

蒸发操作有常压、负压、正压几种条件。

输入能量为:

加热蒸汽带入的热量,按式(7)计算。

物料带入的热量,按式(8)计算。

在计算蒸发设备综合效率时,真空泵的用能量作输入能量看待。在计算净热效率时,不计入这部分能量。

蒸发设备的有效能量为使溶液升温至沸点和溶剂(水)蒸出所吸收的汽化潜热的和。即:

$$Q_{yx} = G_{wl} \times C_{wl} \cdot (t_l - t_h) + G_r \times r \quad \dots\dots\dots(14)$$

式中: Q_{yx} ——有效能量, kJ;

G_{wl} ——物料重量, kg;

C_{wl} ——物料比热, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

t_l ——物料沸点, K;

G_r ——蒸出的溶剂量, kg;

r ——溶剂的汽化潜热, kJ/kg 。

蒸发设备的损失为蒸汽凝结水损失[按式(11)计算],设备表面散热量[按式(12)计算],设备蓄热量[按式(13)计算]。

6.3 蒸馏设备

这里包括简单的蒸馏、精馏和萃取蒸馏等。物料经蒸馏后,液体全部或部分分离为各自的组分。有时,产品只是馏出液;有时,产品不只是馏出液,釜内高沸点组分也是产品;这些高沸点组分有时是气相出料、有时是直接放出,而有效热量的算法也不相同。

输入能量为:

加热蒸汽带入的热量,[按式(7)计算];

物料带入的热量,[按式(8)计算];

产品为塔顶馏出物或同时包括塔底液相高沸点组分时,其有效能量:

YY/T 0150—93

$$Q_{yx} = G_{wl} \times C_{wl} \cdot (t_f - t_h) + G_{df} \times r_{df} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中: Q_{yx} ——有效能量, kJ;

G_{wl} ——物料重量, kg;

C_{wl} ——物料比热, kJ/(kg · K);

t_f ——物料沸点, K;

t_h ——环境温度, K;

G_{df} ——塔顶低沸点馏分重量, kg;

r_{df} ——塔顶低沸点馏分汽化潜热, kg/kJ。

塔低液相高沸点气相收料时, 还需在有效能量中考虑增加以下热量, 即所收高沸点的重量(kg)与该物料的汽化潜热(kg/kJ)的乘积。

在采用萃取蒸馏时, 其有效能量是由以下几部分组成:

物料升温至沸所需热量, 按式(16)计算:

$$Q_{1yx} = G_{wl} \times C_{wl} \cdot (t_f - t_h) \quad \dots\dots\dots (16)$$

物料中被提取物气化所需热量, 按式(17)计算:

$$Q_{2yx} = G_t \times r_t \quad \dots\dots\dots (17)$$

对应被提取物所需最低必要量的萃取剂的升温与汽化所需的热量, 按式(18)计算:

$$Q_{3yx} = G_{cq} \times C_{cq} \cdot (t_f - t_h) + G_{cq} \times r_{cq} \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中: G_{wl} ——物料重量, kg;

C_{wl} ——物料比热, kJ/(kg · K);

t_f ——物料沸点, K;

t_h ——环境温度, K;

G_t ——被提取物的重量, kg;

r_t ——被提取物的气化潜热, kJ/kg;

G_{cq} ——萃取剂的重量, kg;

C_{cq} ——萃取剂的比热, kJ/(kg · K);

r_{cq} ——萃取剂的气化热, kJ/kg。

间歇蒸馏塔的热量损失包括: 中间馏分带的热量; 设备蓄热量; 设备的散热量; 蒸汽凝结水带出的热量。

连续蒸馏时热量损失包括: 回流占有的热量; 设备散热量; 蒸汽凝结水带出的热量。

6.4 干燥装置

干燥装置类型很多, 但能量平衡计算, 几乎是一致的。

输入能量: 干燥装置输入的能量包括加热蒸汽带入的热量, 按式(7)计算。物料带入的热量, 按式(8)计算。在计算综合效率时, 还应计入配套风机、加料机等装置所实际消耗的能量。

有效能量(有效热): 干燥装置的有效热为物料升温所需要的热量与溶剂(水分)蒸发所需热量之和, 即:

$$Q_{yx} = G \cdot C \cdot (t_{wl} - t_h) + G_s \cdot C_s \cdot (t_{wl} - t_h) + G' \cdot r_s \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中: Q_{yx} ——有效能量, kJ;

G ——干物料的重量, kg;

C ——干物料的比热, kJ/(kg · K);

t_{wl} ——干燥过程中物料的温度, K;

t_h ——环境温度, K;

G_s ——蒸发的溶剂(水分)重量, $G_s = G' \frac{W_1 - W_2}{100 - W_1}$, kg;

- W_1 ——物料的最初含湿量(湿基),%;
 W_2 ——物料的最终含湿量(湿基),%;
 C_s ——蒸发的溶剂(水分)的比热,kJ/(kg·K);
 r_s ——蒸发溶剂的气化潜热,kJ/kg;
 G' ——干燥后物料重量,kg。

干燥装置的损失包括以下各项:

蒸汽凝结水带走的热量,按(式 11)计算。

随尾部排出空气带走的热量,可按式(20)计算:

$$Q_{kq} = G_{kq}(1.0049 + 1.968 d_o/1000)(t_2 - t_1) \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中: Q_{kq} ——尾部排出空气带走的热量,kJ;

G_{kq} ——空气消耗量,kg;

d_o ——进入空气加热器时的空气含湿量,g/kg 干空气;

t_2 ——气体离开干燥器的温度,K;

t_1 ——进入空气加热器的空气温度,K。

设备表面散热量按式(12)计算。

设备蓄热量按式(13)计算。

6.5 发酵设备

发酵设备采用蒸汽灭菌操作时,输入能量为加热蒸汽供入的热量和物料带入的热量(指实消与连消情况)。

其有效能量为:

需灭菌的设备和设备内附件及相连的管路加热至灭菌温度所需的热量(kg)。

当实消时,还需增加物料温升到规程规定温度所需的热量(kg)。

列入损失的项目有:灭菌操作时的各部排汽;蒸汽凝结水带走的热量;热表面的散热损失。

6.6 灭菌器

灭菌器的输入能量是加热蒸汽供入的热量和物料带入的热量。

其有效热是物料和料瓶温升至灭菌温度所需的热量。

$$Q_{yx} = G_{wl} \times C_{wl} \cdot (t_m - t_h) + G_p \times C_p \cdot (t_m - t_h) \quad \dots\dots\dots (21)$$

式中: t_m ——灭菌温度,K;

G_p ——料瓶重量,kg;

C_p ——料瓶比热,kJ/(kg·K)。

6.7 用电设备

在制药工业中电能广泛用于电力拖动、控制、照明、电热、仪器仪表等。在能量平衡中将其按电热当量 3 600 J/(kW·h)和折成一次能源按等价热量(按地区核定值或按 12 560J/(kW·h)折算后进行统一计算。

输入能量:

用电设备的输入能量即是设备实耗电量。按实际测得的数值。在没有功率表时可以测出电流、电压值计算。

交流单相电路中,其输入能量为:

$$P = U_x \cdot I_x \cdot \cos\varphi \cdot 10^{-3} \cdot t \times 3.6 \times 10^3 \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中: P ——输入能量,kJ;

U_x ——相电压,V;

I_x ——相电流,A;

YY/T 0150—93

$\cos\varphi$ ——功率因数；

t ——时间, h。

三相电路中, 其输入能量为:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot 10^{-3} \cdot t \quad \dots\dots\dots(23)$$

式中: U ——电压, V;

I ——电流, A。

则用电设备的利用率为:

$$\text{利用率}(\%) = \frac{\text{有效能量}}{\text{输入能量}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(24)$$

用电设备的有效能量的确定:

在没有专用的计算方法时, 最通用的方法是从求出空载与正常工作状态负载下的实测功率后, 用式(25)计算:

$$Q_{yx} = (P_l - P_k) \cdot t \times 3.6 \times 10^3 \quad \dots\dots\dots(25)$$

式中: P_l ——正常负载下的功率, kW;

P_k ——用电设备空载时的功率, kW。

这种方法适用于: 捏合机、粉碎机、压片机、割瓶机、制粒机、离心机等。

6.7.1 搅拌装置的有效能量:

带有搅拌装置的有效能量可用式(26)计算:

$$Q_{yx} = [P_{dj} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot (1 - \eta_3)] \cdot t \times 3.6 \times 10^3 \quad \dots\dots\dots(26)$$

式中: P_{dj} ——实测的电机功率, kW;

η_1 ——电机效率;

η_2 ——传动装置的效率;

η_3 ——轴封或填料箱的摩擦损失占搅拌机功率的百分数值。

η_1 、 η_2 、 η_3 在不能实测时, 可按其型式规格参阅有关样本或手册查得。

6.7.2 压缩空气系统的有效能量

在制药过程中压缩空气用于直接工艺需要、输送物料、压滤、气动仪表等用途。它的有效能量的计算随用途而异。

在用于输送物料时, 按式(27)计算:

$$Q_{yx} = G_{wl} \cdot H / 367 \cdot 100 \times 3.6 \times 10^3 \quad \dots\dots\dots(27)$$

式中: G_{wl} ——被输送的物料重量, kg;

H ——物料提升高度, m。

在用于压滤时:

$$Q_{yx} = G_{wl} \cdot H / 367 \cdot 100 \times 3.6 \times 10^3 \quad \dots\dots\dots(28)$$

式中: G_{wl} ——通过的滤液量, kg;

H ——滤层的最大阻力, 当量米水柱。

用于气动仪表的有效能量按有关产品样本中额定用量计算。

6.7.3 真空系统输入能与有效能的计算

真空系统的输入能为真空泵的输入电能, 有效能为以下工艺过程中真空有效能之和:

- a. 系统内减压蒸馏有效能;
- b. 系统内减压蒸发有效能;
- c. 系统内减压干燥有效能;
- d. 系统内抽吸物料有效能;

e. 系统内真空过滤时的有效能。

真空系统的有效能计算：

当用于减压蒸发、蒸馏时其有效能量为由于减压而使沸点降低，使得溶液升温与汽化比常压时所需热量的差值。

$$Q_{yx} = G_{wl} \cdot C_{wl} \cdot (t_{ch} - t_j) - G_q \cdot (r_j - r_{ch}) \quad \dots\dots\dots (29)$$

式中： t_{ch} ——常压状态时物料沸点，K；

t_j ——减压状态时物料沸点，K；

G_q ——物料汽化部分的重量，kg；

r_j ——汽化部分物料的汽化潜热(减压)，kJ/kg；

r_{ch} ——在常压时气化部分物料的气化潜热，kJ/kg。

注：气化部分物料，是指：在蒸发设备时为蒸出的溶剂(水分)量；在蒸馏设备时为气化收料的成品量。

在用于物料输送时其有效能量为物料重量与提升高度的乘积。同式(27)。

在用于减压过滤的计算同式(28)。

$$\text{真空系统能源利用率(\%)} = \frac{\text{真空系统总有效能}}{\text{真空系统总输入能}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (30)$$

6.7.4 灌封机的综合利用率

灌封机的输入能量的计算是将煤气、电、压缩空气的实际耗用量乘以当量热量而得的和(遇有使用蒸汽加热气化燃料时也应计算在内)。

灌封机的有效能量可参照式(31)计算：

$$Q_{yx} = A \cdot \Sigma B \cdot E \quad \dots\dots\dots (31)$$

式中： A ——实际安瓶生产能力，万支/批或万支/h；

E ——所用能源的当量热量；

B ——推荐的各种能源的有效数量，即：

电：按满载时与空载时所耗功率的差，kW；

煤气：为使玻璃预热、软化、熔融所需的理论量， m^3 。

压缩空气的作用分供气体燃料燃烧和吹安瓶用两种：

供气下燃料燃烧部分的有效能量为：按煤气所需的理论量按式(32)计算出所需空气的理论量。

燃烧 $1 m^3$ (标准状况)气体燃料所必需的理论空气体积为：

$$V_0 = 0.0478 \left[0.5 H_2 + 0.5 CO + 2CH_4 + 3C_2H_4 + 3.5C_2H_6 + \left(n + \frac{m}{4} \right) \cdot C_nH_m - O_2 \right] \quad \dots\dots\dots (32)$$

式中： V_0 —— $1 m^3$ 气体燃料所需的理论空气量(标准状况)， m^3 ；

H_2 ——气体燃料中氢含量的百分数值；

CO ——气体燃料中一氧化碳的百分含量；

CH_4 ——气体燃料中甲烷的百分含量；

C_2H_4 ——气体燃料中乙烯的百分含量；

C_nH_m ——气体燃料中其他碳化氢的百分含量；

O_2 ——气体燃料中氧的百分含量。

压缩空气供吹洗安瓶时其有效能量按吹出安瓶内水的体积(m^3)计算。

6.7.5 糖衣机的综合利用率

糖衣机的输入能量为将电、蒸气、空气的实际耗用量乘以当量热量而得的和。

YY/T 0150—93

糖衣机的有效能量可参照式(33)计算:

$$Q_{yx} = A \cdot \Sigma B \cdot E \quad \dots\dots\dots (33)$$

式中: Q_{yx} ——有效能量;完好损耗电能, kW·h;

A ——实际糖衣机的生产能力, 万片/锅或 kg/锅;

E ——所用能源的当量热量;

B ——推荐的各种能源的有效数量。

即: 电用于传动时按满载与空载时所耗功率的差, 开动时间按实际小时计算。

用于加热时, 无论采用电热或蒸汽加热其有效能量为:

$$Q_{yx} = G_{wl} \cdot C_{wl} \cdot (t_{zh} - t_h) + (G_{1wl} - G_{2wl}) \cdot r \quad \dots\dots\dots (34)$$

式中: Q_{yx} ——用于加热时的有效能量, kJ;

G_{2wl} ——终了时的物料重量, kg;

G_{1wl} ——投入糖衣机内的总物料重量, kg;

t_{zh} ——糖衣机加热的最高温度, K;

t_h ——加热物料的初使温度, K;

r ——常压下的汽化潜热, kJ/(kg·K)。

7 企业能量平衡的结果表示

7.1 企业能量平衡的结果分别记入下列各表:

企业能量收支平衡表;

企业能量直接消耗量总表;

主要耗能设备效率表;

主要产品能耗表;

企业能源利用率表。

以上均按 GB 3884 规定表格表示。

7.2 企业能流图

按 GB 6421 规定绘制。

7.3 分析与建议

企业能量平衡测试报告中, 必须有测试结果分析与建议。分析准确、措施可行有效。

附加说明:

本标准由国家医药管理局节能监测中心负责起草。

本标准起草人沈缙文、钱国祥、马春发。