

工业设备能量平衡计算

倪学林 秦岭 编

纺织工

内 容 提 要

本书主要介绍电工、热工基础知识, 电气设备、用热设备、制冷设备, 锅炉、煤气炉、风机、水泵等通用设备的能量平衡测试计算方法和典型纺织设备的计算实例。书中所介绍的计算方法可作为各工业企业能量平衡测试计算的通用方法。

本书可供各工业企业的能量管理人员学习参考。

责任编辑: 郑剑秋

工业设备能量平衡计算

倪学林 秦 岭 编

纺织工业出版社出版

(北京东长安街12号)

纺织工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1092毫米 1/32 印张: 7 16/32 字数: 166千字

1988年2月 第一版第一次印刷

印数: 1—8,000 定价: 1.65元

统一书号: 15041·1696

ISBN 7-5064-0012-X/TS·0013

前 言

工业企业能量平衡工作，是一项新的工作，它涉及面广，需要多种学科知识。近年来，通过在纺织系统能量平衡测试工作的实践，我们总结编写成这本书，供读者参考。

本书所介绍的测试计算方法，有严谨的科学与理论根据，并在实践中经过反复论证，同时，附有计算实例，可作为各工业企业测试计算的通用方法。

在编写本书的过程中，参阅了国内各省市的有关资料，并得到河南省能源研究所尹辅印研究员、杨鸿秀工程师，郑州市节能技术中心石抱一总工程师的大力帮助，在此表示感谢。

由于我们水平有限，难免有错误之处，敬请读者予以指正。

作者

1986年9月

目 录

第一章 基础知识.....	(1)
第一节 电工学知识.....	(1)
第二节 热力学知识.....	(12)
第三节 传热学知识.....	(23)
第四节 水蒸气的物理性质.....	(31)
第五节 有效能与效率.....	(33)
第六节 湿空气的物理性质.....	(36)
第七节 与棉纺织工艺有关的计算.....	(39)
第二章 电气设备实例.....	(42)
第三章 用热设备的测试与计算.....	(51)
第一节 概述.....	(51)
第二节 浆纱机.....	(52)
第三节 圆筒烘干机.....	(78)
第四节 染纱机.....	(84)
第五节 蒸箱.....	(92)
第六节 显色皂洗机.....	(96)
第七节 三效蒸发器.....	(117)
第八节 供热管网的散热.....	(122)
第四章 制冷设备的测试与计算.....	(124)
第一节 概述.....	(124)
第二节 氨制冷设备.....	(127)
第三节 蒸汽喷射制冷设备.....	(132)
第四节 溴化锂吸收式制冷设备.....	(139)
第五节 计算实例.....	(145)

第五章 锅炉设备的测试与计算	(153)
第一节 有关规定.....	(153)
第二节 正平衡法.....	(155)
第三节 灰平衡.....	(159)
第四节 反平衡法.....	(161)
第五节 锅炉净效率.....	(169)
第六节 计算实例.....	(171)
第六章 通用设备的测试与计算	(179)
第一节 风机.....	(179)
第二节 水泵.....	(182)
第三节 空气压缩机.....	(184)
第四节 煤气炉.....	(186)
第五节 背压汽轮机热电联产的经济分析.....	(195)
附表 1 在大气压力下干空气的物理参数.....	(200)
附表 2 饱和水蒸气性质 (按温度排列)	(201)
附表 3 饱和水蒸气性质 (按压力排列)	(208)
附表 4 空气物理性质 ($p_B = 101325\text{Pa}$)	(213)
附表 5 各种材料的密度、导热系数、比 热容.....	(217)
附表 6 工业企业照度标准.....	(219)
附表 7 纺织企业照度标准.....	(223)
附表 8 各种灯具单位面积安装功率.....	(225)
参考文献	(233)

第一章 基础知识

第一节 电工学知识

一、电阻的温度系数

导体的电阻与温度有关，对于普通金属，温度越高，电阻越大。因此，得

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \tag{1-1}$$

式中： R_1 、 R_2 ——分别为 t_1 、 t_2 温度时，导体的电阻 (Ω)；

t_1 、 t_2 ——分别为导体的温度 ($^{\circ}\text{C}$)；

α ——电阻的温度系数 ($1/^{\circ}\text{C}$)，见表1-1。

表1-1 几种常用材料的电阻温度系数 (0~100 $^{\circ}\text{C}$)

材 料 名 称	电阻的温度系数 ($1/^{\circ}\text{C}$)
银	0.0036
铜	0.00393
铝	0.0040
铁	0.0057
钢	0.00625

二、电流的热效应

按照能量守恒定律，电能可以转化为热能，热能也可以转化为电能。

$$Q = I^2 R t \tag{1-2}$$

式中: Q ——热量(J);

I ——电流(A);

R ——电阻(Ω);

t ——时间(s)。

三、变压器的损耗

电力变压器的有功损耗,分为两部分。

1. 铁损 铁损与负荷无关,它是电力变压器空载损耗扣除空载电流产生的铜损后的损耗。

$$P_i = P_k - 3I_k^2 R \quad (1-3)$$

式中: P_i ——铁损(W);

P_k ——空载损耗(W);

I_k ——空载电流(A);

R ——主线圈的单相电阻(Ω)。

2. 铜损 铜损即短路损耗,它与负荷有关,也与变压器主线圈与副线圈的电阻有关。从式(1-2)可以看出,铜损与负荷电流的平方成正比例,因此,它与负荷有关。

由于变压器的杂散损耗,绝缘介质损耗等其它损耗数值很小,故变压器的损耗,只按铜损、铁损两项进行计算。

$$P_b = P_i + P_d \beta^2 \quad (1-4)$$

式中: P_b ——变压器的有功损耗(W);

P_i ——铁损(W);

P_d ——铜损(W);

β ——负荷系数。

负荷系数 β ,用下式计算。

$$\beta = \frac{I_s}{I_n} = \frac{S_s}{S_n} \quad (1-5)$$

式中: I_L ——实际负荷电流(A);

I_N ——变压器额定电流(A);

S_L ——实际视在功率(kV·A);

S_N ——变压器额定容量(kV·A)。

四、电动机的损耗

感应电动机的有功损耗, 分为下列几部分。

1. 铁损 它是电动机的空载损耗扣除空载电流产生的铜损后的损耗。进一步说, 这里的铁损是指励磁损耗与机械损耗(摩擦、风扇等)之和。

$$P_t = P_k - 3I_k^2 R \quad (1-6)$$

式中: P_t ——铁损(W);

P_k ——空载损耗(W);

I_k ——空载电流(A);

R ——定子线圈电阻(Ω)。

2. 铜损 它与负荷有关并与电动机线圈中存在的电阻成正比, 也与载荷电流的平方成正比。

(1) 定子铜损:

$$P_{d1} = 3I_L^2 R \quad (1-7)$$

式中: P_{d1} ——定子铜损(W);

I_L ——载荷电流(A);

R ——定子电阻(Ω)。

(2) 转子铜损: 转子铜损是转移到转子上的总功率, 乘以转差率。

$$P_{d2} = (P_z - P_{d1} - P_t)s \quad (1-8)$$

$$s = \frac{n_0 - n_z}{n_0} \quad (1-9)$$

$$n_0 = \frac{60 \times \text{周波}}{\text{电极对数}} = \frac{3000}{\text{电极对数}} (\text{r/min}) \quad (1-10)$$

上三式中: P_{d2} ——转子铜损(W);

P_s ——载荷功率(W);

s ——转差率;

n_0 ——同步转速(r/min);

n_s ——载荷转速(r/min)。

3. 附加损耗 它是以上各式内未计入的损耗, 如杂散及其它等等。

$$P_f = 0.005 P_s \quad (1-11)$$

式中: P_f ——附加损耗(W);

P_s ——载荷功率(W)。

五、电缆的损耗

电力电缆的损耗中, 有导线电阻、绝缘介质、电缆护套(即铅包)、电缆铠装(即钢甲)等四种损耗组成。由于电阻损耗占总损耗的98%左右, 因此, 计算中, 只计算导体电阻损耗。其余三种损耗, 可以忽略不计, 详见实例。

电缆的直流电阻比交流电阻小, 因为在交流电情况下, 有集肤效应和邻近效应的影响, 使电阻增大。

$$R_j = (1 + \gamma_j + \gamma_l) R_s \quad (1-12)$$

式中: R_j ——交流电阻(Ω);

γ_j ——集肤效应系数;

γ_l ——邻近效应系数;

R_s ——直流电阻(Ω)。

电缆的电阻损耗为

$$P_i = 3 I_s^2 R_j \quad (1-13)$$

式中: P_i ——电阻损耗(W);

I_z ——电缆每相载荷电流(A);

R_j ——电缆交流电阻(Ω)。

六、整流设备

对于充电机、镀铬机、硅整流器等交流变换为直流的设备,只要找出它们的输入功率和输出功率,就能计算出它们的损耗或效率。

$$\text{输入功率} = \sqrt{3} U_j I_j \cos \varphi \times 10^{-3} \quad (1-14)$$

$$\text{输出功率} = U_z I_z \times 10^{-3} (\text{kW}) \quad (1-15)$$

式中: U_j ——三相交流线电压(V);

I_j ——三相交流线电流(A);

$\cos \varphi$ ——功率因数;

U_z ——直流电压(V);

I_z ——直流电流(A)。

七、电焊机

熔敷到焊缝金属中的那一部分焊条金属质量,与焊接金属所需要的有效电流成正比例,可用下式表示。

$$m_f = \alpha I t \quad (1-16)$$

式中: m_f ——焊接期间,熔敷到焊缝金属中的焊条金属质量(kg);

α ——焊条焊芯的熔敷系数,即每一安培小时能熔敷到焊缝中的焊条焊芯质量[kg/(A·h)];

t ——焊接时间(h);

I ——电流(A)。

在焊接过程中,由于金属蒸发、氧化和飞溅,损失了一部分焊条金属,它与熔化的焊芯金属总量之比,称为损失系数。

$$\psi = \frac{\Delta m}{m_b} \quad (1-17)$$

式中: ψ ——损失系数;

Δm ——焊接期间, 金属蒸发、氧化和飞溅损失的焊条金属质量(kg);

m_b ——焊接期间, 熔化的焊芯金属质量(kg)。

金属的蒸发、氧化和飞溅所损失的焊条金属, 为式 (1-16) 中的电流 I 所熔化。因此, 有效电流应为

$$I_{yx} = I(1 - \psi) \quad (1-18)$$

式中 I_{yx} 为有效利用电流(A)。

$$K_b = \frac{m_b}{m_x} \quad (1-19)$$

式中: K_b ——药皮的质量系数;

m_b ——药皮的质量(kg);

m_x ——电焊条的金属焊芯质量(kg)。

电焊条在焊接后, 尚有丢弃的焊芯端头。

$$\xi = \frac{\Delta m'}{m_x} \quad (1-20)$$

式中: $\Delta m'$ ——焊接期间, 丢弃的焊芯端头(kg);

ξ ——丢弃焊芯端头的丢失系数。

$$m_r = m \left(\frac{1}{1 + K_b} \right) (1 - \xi) (1 - \psi) \quad (1-21)$$

式中: m ——焊接期间, 焊条消耗质量(kg);

m_r ——焊接期间, 熔敷到焊缝金属中去的焊条金属质量(kg)。

式 (1-19) 和式 (1-20) 中的 K_b 、 ξ 可以实测, 为简化

公式起见，令

$$K_l = \left(\frac{1}{1 + K_b} \right) (1 - \xi) \quad (1-22)$$

式中 K_l 为焊条的利用系数。

将式(1-21)、式(1-22)代入式(1-16)，再代入式(1-18)。

$$I_{yx} = \frac{m K_l (1 - \psi)^2}{\alpha t} \quad (1-23)$$

熔敷系数与电流对焊条的熔化系数之间的关系，如下式。

$$\alpha_h = \frac{\alpha}{1 - \psi} \quad (1-24)$$

式中： α_h ——电流对焊芯的熔化系数[kg/(A·h)]；

α ——熔敷系数[kg/(A·h)]。

于是，得电焊机的有效能与效率公式如下：

$$P_{yx} = \frac{m K_l (1 - \psi) U_2 \cos \varphi}{\alpha_h t} \quad (1-25)$$

$$W_{yx} = \frac{m K_l (1 - \psi) U_2 \cos \varphi}{\alpha_t} \quad (1-26)$$

$$\eta(\%) = \frac{W_{yx}}{W_z} \times 100 \quad (1-27)$$

式中： P_{yx} ——有效电功率(W)；

U_2 ——电焊机焊接时二次电压(V)；

$\cos \varphi$ ——电焊机焊接时一次侧功率因数；

W_{yx} ——有效电能(W·h)；

W_z ——耗电量(W·h)；

η ——电焊机效率(%)。

表1-2 损失系数

焊 条 牌 号	结422	结507
损失系数(ψ)	0.0391	0.026

表1-3 焊芯的熔化系数（结422焊条）

序	厂家名称	熔化系数 α_h [kg/(A·h)]	序	厂家名称	熔化系数 α_h [kg/(A·h)]
1	联邦德国进口	0.00854	25	杭州电焊条厂	0.00781
2	锦州电焊条厂	0.00854	26	淄博电焊条厂	0.00768
3	天关电焊条厂	0.00834	27	厦门电焊条厂	0.00812
4	韶关电焊条厂	0.00860	28	贵阳电焊条厂	0.00796
5	辽源电焊条厂	0.00843	29	郑州电焊条厂	0.00774
6	西宁电焊条厂	0.00812	30	兰州电焊条厂	0.00815
7	合肥电焊条厂	0.00825	31	抚顺电焊条厂	0.00798
8	萍乡电焊条厂	0.00833	32	丹东电焊条厂	0.00841
9	天津电焊条厂 (MT-20)	0.00845	33	宝鸡电焊条厂	0.00814
10	银川电焊条厂	0.00753	34	宜昌电焊条厂	0.00816
11	西安电焊条厂	0.00862	35	南京电焊条厂	0.00843
12	广州电焊条厂	0.00790	36	电力电焊条厂	0.00871
13	大同电焊条厂	0.00782	37	泰州电焊条厂	0.00807
14	北京电焊条厂	0.00809	38	哈尔滨电焊条厂	0.00805
15	上饶电焊条厂	0.00801	39	株州电焊条厂	0.00855
16	天津电焊条厂	0.00820	40	石家庄电焊条厂	0.00807
17	青岛电焊条厂	0.00817	41	桂林电焊条厂	0.00836
18	牡丹江电焊条厂	0.00771	42	哈反帝电焊条厂	0.00795
19	保定电焊条厂	0.00769	43	集宁电焊条厂	0.00842
20	上海电焊条厂	0.00831	44	长春电焊条厂	0.00787
21	成都电焊条厂	0.00857	45	洛阳电焊条厂	0.00809
22	长治电焊条厂	0.00797	46	邢台电焊条厂	0.00869
23	常州电焊条厂	0.00803	47	自贡电焊条厂	0.00852
24	东风电焊条厂	0.00782	48	福州电焊条厂	0.00836
			49	沈阳电焊条厂	0.00817

焊条的利用系数，要进行实测。损失系数 ψ 与金属蒸发、氧化、飞溅有关，见表1-2。电流对焊条的熔化系数 α_h ，见表1-3、表1-4。

表1-4 焊芯的熔化系数（结507焊条）

序	厂家名称	熔化系数 α_h [kg/(A·h)]	序	厂家名称	熔化系数 α_h [kg/(A·h)]
1	宜昌电焊条厂	0.00844	8	上海电焊条厂	0.00721
2	自贡电焊条厂	0.00750	9	株州电焊条厂	0.00794
3	集宁电焊条厂	0.00770	10	西安电焊条厂	0.00742
4	泰州电焊条厂	0.00727	11	沈阳电焊条厂	0.00849
5	电力电焊条厂	0.00774	12	兰州电焊条厂	0.00823
6	锦州电焊条厂	0.00736	13	东风电焊条厂	0.00832
7	常州电焊条厂	0.00787			

八、金属切削车床

金属切削车床的效率较低。它的用电负荷曲线见图1-1。图上纵坐标是功率，横坐标是时间，其面积就是电量。

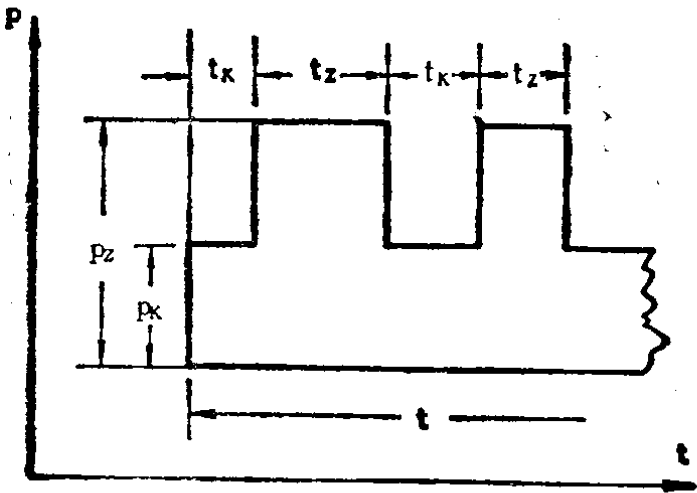


图1-1 用电负荷曲线示意图

这个面积可分解为两部分，一是空载部分，即车床不进行切削加工时，车床的空运转用电量，是连续负荷，由空载功率 P_k 与 t 组成。二是有功功率， $P_z - P_k$ 与 t 组成，即当车床进行切削加工时增加的电量，这个面积是不连续的，而是断续地堆在运转负荷之上。

应当指出， $(P_z - P_k)$ 不是一样高的，而是依据切削加工量而变动。为便于说明，图中已用累计载荷时间 Σt_z 加以平均。

从图1-1，可以进行以下计算。

$$t = \Sigma t_z + \Sigma t_k \quad (1-28)$$

$$\text{总耗电量} = P_k \Sigma t_k + P_z \Sigma t_z \quad (1-29)$$

$$\text{载荷时间内机电效率}(\%) = \frac{P_z - P_k}{P_z} \times 100 \quad (1-30)$$

$$\begin{aligned} \text{总工时间内的机电效率}(\%) &= \frac{(P_z - P_k) \Sigma t_z}{P_k t + (P_z - P_k) \Sigma t_z} \times 100 \\ &= \frac{(P_z - P_k) \Sigma t_z}{\text{总耗电量}} \times 100 \quad (1-31) \end{aligned}$$

上四式中： t ——总工作时间(h)；

Σt_z ——载荷时间累计(h)；

Σt_k ——空载时间累计(h)；

P_z ——载荷功率(kW)；

P_k ——空载功率(kW)。

某些书籍中，式(1-31)中，乘入一个设备装载率。设备装载率是以设备在加工、生产过程中，实装件数与应装件数之比，乘以经验系数而计算出的。不过，纺织厂所用的车床，大多数是小型车床，即使有个别大型车床，也不能象机

械厂那样，考核它的装载率。纺织厂的设备装载率均可以认为是1。而对纺织机械制造厂等行业，车床则是主要生产设
备，要考核设备装载率。

九、输配电系统损失

输配电系统损失，包括进厂计量电度表以后的高压线路、高压配电盘、变压器、低压配电盘、低压线路等五项损失。如果高压线路、低压线路是电缆，则前面已讲过。如果高压线路与低压线路是架空线路，而且负荷分散，成树枝状供电，则可以切成若干个负荷集中于末端的小段，进行计算。

$$P = 3I^2R \quad (1-32)$$

也可根据树枝状线路的负荷分布状况，选取一个分散系数，进行简化计算。

$$P = 3I^2RK \quad (1-33)$$

式中：P——损耗(W)；

I——电流(A)；

K——分散系数，可在电工手册上查得；

3——三相。

高压配电盘与低压配电盘损失是指盘上各种电器的损失，用统计方法计算。

如电容器、互感器、计量监测仪表、交流接触器等，可根据制造厂家提供的耗电数据计算，或采用下列数值。

电 容 器 0.003[kW/(kV·A)]

互 感 器 0.2[kW/(kV·A)]

单相电度表 1kW·h/(月·只)

三相三线电度表 2kW·h/(月·只)

三相四线电度表 3kW·h/(月·只)

安培表、电压表、功率表	3kW·h/(月·只)
交流接触器CJ-100型	15kW·h/(月·只)
交流接触器CJ-150型	20kW·h/(月·只)
交流接触器CJ-250~CJ-300型	65kW·h/(月·只)
交流接触器CJ-400~CJ-600型	100kW·h/(月·只)

第二节 热力学知识

一、系统

系统，即体系。在热工分析计算中，为了便于分析问题，总要把研究对象从周围物体中划分出来。系统就是指研究某一热工问题的范围，就是研究的对象。本书对用热设备所画的热平衡模型，简称框图，就是划分系统、体系的具体应用。系统可以分为以下四种。

闭口系统：没有物质穿过边界的系统，即系统内物质保持恒定。

开口系统：有物质穿过系统边界，进入或流出系统。

绝热系统：系统与外界没有热量变换关系。

孤立系统：与外界无热量与质量交换。

二、状态及状态参数

工质，即工作物质的简称，指参加热过程的物质，如空气、烟气、水蒸气等。工质在某一瞬间时所表现的宏观热力状况，称为热力状态，或简称为状态。描写工质热力状态的物理量，称为状态参数。

描写工质热力状态参数有温度(T)；压力(p)；比体积，或称比容(v)；内能(U)；焓(I)；熵(S)。温度、压力、比体积是基本状态参数；内能、焓、熵是导出状态参数。