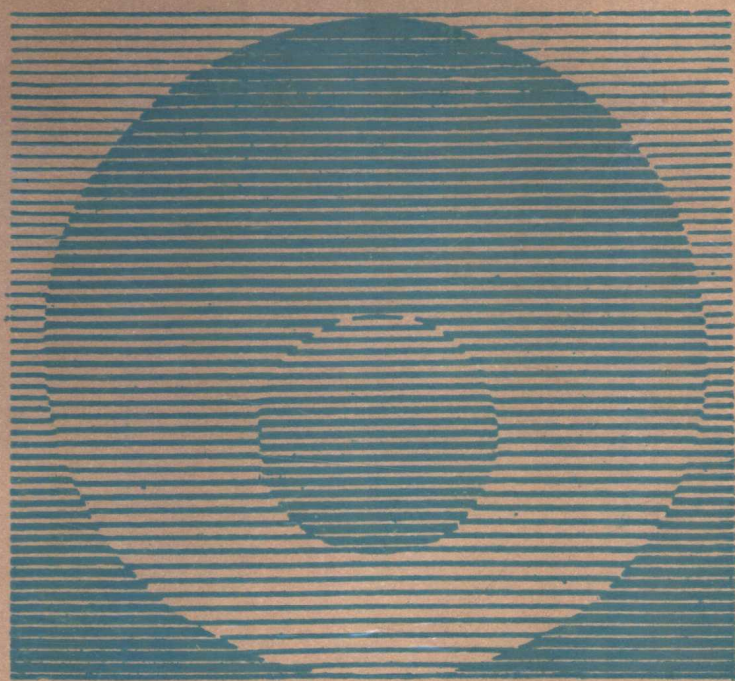


第二届水泥学术会议 论文选集

《第二届水泥学术会议论文选集》编辑委员会 编



中国建筑工业出版社

第二届水泥学术会议论文选集

《第二届水泥学术会议论文选集》编辑委员会 编

中国建筑工业出版社

本届《论文选集》编辑了1984年水泥学术会议上推荐的论文共124篇(包括摘要),分:水泥工艺技术;水泥装备、仪表、自动化及环保;水泥品种;水泥化学及物化测试;立窑水泥;原料及废渣利用;标准化及其它等七个部分。论文在贯彻科技为经济建设服务方针方面有新的进展,并具有方向性和实用性。可供从事水泥工业的科研、设计、教学及生产部门的工程技术人员、管理人员参考。

责任编辑:汪瑞芬

第二届水泥学术会议论文选集

《第二届水泥学术会议论文选集》编辑委员会 编

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 32 $\frac{1}{2}$ 字数: 761 千字

1988年10月第一版 1988年10月第一次印刷

印数: 1—1,960册 定价: 22.50元

ISBN 7-112-00062-9/TQ·2

统一书号: 15040·5373

编 者 的 话

中国硅酸盐学会水泥专业委员会，于1984年12月在湖南长沙市召开了第二届水泥学术年会。出席会议的有国内水泥界的专家、学者和科技人员共140人，提交论文146篇，会上宣读了129篇。这是继1980年第一届水泥学术会议以来的又一次盛会。

从本届会议提交的论文看，主要有以下几方面的特点：（1）科研与生产结合、为生产服务，如对应用复合矿化剂的研究，为进一步提高立窑水泥的产、质量提供了途径；（2）重视了新技术在水泥工业中的应用研究，如对水泥窑外分解技术的研究和微型计算机及工业彩电用于水泥窑上的研究等都有新的突破；（3）填补了若干空白，如水泥机械设备上用的耐磨、耐热材料的研究及对水泥生产中对大气环境质量影响的估算等论文，为提高设备运转率、降低材料消耗和文明生产创造了条件；（4）面广，论文所涉范围较广，并有一定的创新。总之，这些论文在一定程度上反映了近年来科技战线贯彻为经济建设服务方针的重要成果。

为了让国内水泥界广大工程技术人员了解这些科技成果，并将其推广应用到生产中去，我们选编了推荐的论文87篇、论文摘要37篇。希望通过论文集的出版，进一步调动水泥科技工作者的积极性，给水泥专业的科研、设计和生产带来新的气象。

《第二届水泥学术会议论文选集》编辑委员会

一九八六年十二月

编辑委员会委员：

主 编：王幼云

副 主 编：楼宗汉

编 委：（以姓氏笔划为序）：王天颐、成希弼、沈威、芦文谟、杨志谦、杨南如、钟景裕、胡道和、黄文熙、黄有丰、黄锦扬

工作人员：李信芳

目 录

一、水泥工艺技术

(一) 能源利用效率与分析方法	3
(二) 试论冷却机的热效率对回转窑热耗的影响	13
(三) 浅析峨嵋水泥厂回转窑低能耗因素	18
(四) 沸腾式分解炉试验研究	23
(五) 流态化预分解并增加余热发电的研究	30
(六) 窑外分解工艺中的预热器——结构与流场(摘要)	37
(七) $\phi 3 \times 45$ 米分解炉窑的最佳产量与热耗(摘要)	38
(八) 新型立式沸腾冷却机的研制(摘要)	39
(九) 磨机衬板形式对快硬水泥颗粒组成及强度的影响(摘要)	40

二、水泥装备、仪表自动化及环保

(一) 装角螺旋衬板磨机节能增产原因的探讨	43
(二) 高碳奥氏体锰钢在水泥磨机上的应用	48
(三) 对引进大型球磨机筒体衬板材料的解剖分析	53
(四) 水泥磨机双分流减速器的均载分析与计算	59
(五) 球磨机主轴承的润滑状态和降低摩擦功率损失的途径	63
(六) 轮带低温脆性断裂原因初探	68
(七) 高速离心喷雾机临界转速的计算	76
(八) 高铬材质的应用与研究	82
(九) 高碳奥氏体锰钢耐磨材料的试验研究	90
(十) 水泥窑中耐热钢链条的研究	95
(十一) 挠性均载系统的动力特性分析	101
(十二) 大变位齿轮磨损后修复方法的研究	105
(十三) 浅谈水泥回转窑轮带和托轮的失效原因	109
(十四) 立窑卸料拖动系统的过渡和转矩控制	115
(十五) 真空开关在磨机拖动控制系统中的应用	121
(十六) 煤磨计算机控制数学模型解释	127
(十七) 在配料控制上使用 x 荧光钙铁分析仪	132
(十八) 微型计算机在水泥生料配料方面的应用	136
(十九) 生料率值配料算法和计算机应用	145
(二十) 水泥生产配料专用微电脑的研究	151
(二十一) 浅谈电子自动检包计包装装置	155
(二十二) 多功能自动照明控制电路的设计	162
(二十三) 彩色工业电视“看火”在水泥回转窑上的推广应用	169
(二十四) 准彩色工业电视及其应用	174

(二十五)略谈水泥厂排尘对大气环境质量影响的估算	179
(二十六)电除尘器阴极振打装置的振打性能分析与选型	186
(二十七)一氧化碳分析仪在电收尘上的应用与调校(摘要)	191
(二十八)电力电容器放电灯泡接法的探讨(摘要)	192
(二十九)交流接触器直流运行时的原理及应用(摘要)	193
(三十)微型计算机在预报熟料和水泥强度中的应用(摘要)	194
(三十一)粉体整体流料仓最小卸料口径的确定(摘要)	195

三、水 泥 品 种

(一)无声破碎剂的性能与应用	199
(二)粉煤灰低热水泥的试验研究	205
(三)粉煤灰大坝水泥及其机理的研究	211
(四)含有膨胀组分的硅酸盐水泥研究	215
(五)不同膨胀剂对PAG型收缩补偿水泥性能的影响的研究	218
(六)高炉渣白水泥的研究	221
(七)白色熔融水泥	225
(八)白水泥厂技术管理初探	228
(九)减水剂在中国的应用	232
(十)熟料颗粒大小对水泥性能的影响——兼论水泥的最佳颗粒组成	235
(十一)矿渣水泥中掺石灰石后对水泥性能的影响	240
(十二)MR-4耐高温无机胶凝粘接材料(摘要)	246
(十三)石灰石对水泥性能的影响(摘要)	247

四、水泥物化测试及理论

(一)CaO—SiO ₂ —CaF ₂ 系统的CaF ₂ 高温挥发规律性的探索	251
(二)熟料-石膏-木质磺酸盐-碱金属碳酸盐-水系统水化机理的研究	254
(三)粒径分布对水泥水化速度的影响的理论探讨	259
(四)水泥体系颗粒分布对水化影响的数学分析	264
(五)水化钙黄长石的形成	269
(六)高温、高压、高碱下的碱—集料反应	275
(七)不同性状的CaO对硅酸盐水泥安定性的影响	279
(八)超塑化剂对C ₃ S水化产物C-S-H的影响	286
(九)重晶石、萤石在水泥熟料形成过程中的作用及其机制的研究	292
(十)含氟硫熟料中A ₁ 矿和C ₄ A ₃ S ₃ 形成的研究	298
(十一)含有CaF ₂ 和CaSO ₄ 的生料易烧性及C ₃ S性能	305
(十二)含硫、氟硅酸盐水泥熟料的初始水化和凝结	310
(十三)含硫、氟熟料化学相分离方法的研究	315
(十四)用选择萃取研究几种水泥熟料铁相的组成	320
(十五)水化水泥动电性能的研究	326
(十六)硫铁矿渣砂浆钙矾石相的x射线定量分析方法	331
(十七)x射线定量分析中定位定时计数法峰强的计算	336
(十八)磷、氟、铁、钛对C ₄ A ₃ S ₃ 形成和2C ₃ S·CaSO ₄ 分解的影响	339
(十九)煅烧温度对复合矿化水泥熟料岩相构造及A ₁ 矿固溶程度的影响(摘要)	345

(二十) 水泥原料在煅烧过程中的活性及其对熟料煅烧的影响 (摘要)	346
(二十一) 低钙高铁水泥的水化研究 (摘要)	347
(二十二) 活性 β - C_2S 的形成机理 (摘要)	348
(二十三) 碱对硫铝酸盐水泥膨胀性能的影响 (摘要)	349
(二十四) 吉林白山大坝混凝土自生体积膨胀机理的研究 (摘要)	350
(二十五) 矿渣水泥流变性能的研究 (摘要)	351
(二十六) $BaSO_4 + CaF_2$ 复合矿化作用的探讨 (摘要)	352
(二十七) 用激光喇曼光谱研究水泥矿物 (摘要)	353
(二十八) 水泥浆体-大理石界面的结构及其增强 (摘要)	354
(二十九) 高强水泥石的 GPC 法分析 (摘要)	355
(三十) 水泥单矿水化产物的 zeta 电位研究 (摘要)	356
(三十一) 掺硅灰水泥石孔结构的特征 (摘要)	357

五、立 窑 水 泥

(一) 入窑生料与配煤计量自动控制系统	361
(二) 试论生料成球问题	366
(三) 复合矿化剂对立窑水泥熟料形成过程及其质量的影响	370
(四) 复合矿化剂对立窑水泥熟料组成结构与性能的影响	376
(五) 从北流县水泥厂熟料矿物结构探讨立窑采用复合矿化剂的作用机理	382
(六) 重晶石尾矿作煅烧水泥熟料矿化剂的应用研究	387
(七) 水泥熟料低温快速烧成法	392
(八) 试论干法生料磨机的热工特性	396
(九) 新型高效节能悬浮矿渣烘干机	401
(十) 磨机新型节能衬板——圆角方形衬板 (摘要)	404
(十一) 掺复合矿化剂烧制的水泥熟料铁相组成及凝结时间的研究 (摘要)	405

六、原料及废渣利用

(一) 粉煤灰成球干燥工艺研究和烘干球粒的数学模型	409
(二) 微集料水泥	414
(三) 粉煤灰水泥的水化、碳化和混凝土的钢筋锈蚀	421
(四) 硫铁矿、萤石作复合矿化剂低温烧制硅酸盐水泥	427
(五) 水淬电炉磷渣对混凝土钢筋锈蚀的研讨	433
(六) 副产石膏的综合利用	440
(七) 利用粉煤灰综合生产氧化铝和硅酸盐水泥的初步探讨	444
(八) 天然沸石岩作水泥混合材料的活性评价	449
(九) 南京硬石膏作水泥缓凝剂	454
(十) 峰岗火山岩活性及其改善水泥性能的作用	458
(十一) 采用复合矿化剂技术生产优质煤矸石水泥	463
(十二) 粉煤灰抑制混凝土碱—骨料膨胀反应的研究与实践 (摘要)	467
(十三) 利用电厂粉煤灰代替熔渣配料的探讨 (摘要)	468
(十四) 建立粉煤灰水泥粉磨站经济效益高 (摘要)	469
(十五) 几种烧粘土的组成与火山灰活性	470
(十六) 煅烧煤矸石活性与蒸养煤矸石硅酸盐水化产物 (摘要)	471

七、标准及其它

(一) 用于水泥中的火山灰质混合材料标准的研究	475
(二) 水泥标准稠度测定方法的研究	483
(三) 快凝快硬硅酸盐水泥标准的研究	485
(四) 水泥强度快速测定方法的研究	489
(五) 关于抗硫酸盐硅酸盐水泥标准中几个问题的研究	492
(六) 白水泥白度试验方法的研究	496
(七) 提高氟电极测定水泥及其原料中氟含量准确度的探索	498
(八) 硫铝酸盐水泥生料碳酸钙滴定值计算方法的探讨(摘要)	500
(九) 1.5小时促凝压蒸水泥强度快速测定法(摘要)	502
(十) 水泥原材料中微量氯的 α 射线荧光分析(摘要)	503
(十一) 水泥生料中 SiO_2 的差示分光快速测定(摘要)	504
(十二) 硫酸盐腐蚀破坏实例及现场试验(摘要)	505

一、水泥工艺技术

(一) 能源利用效率与分析方法

南京化工学院 胡道和 刘福义

能源是发展国民经济的重要物质基础，而节能又是四化建设的基本技术政策。它不仅涉及到社会、经济、技术各方面，甚至更广泛地具有伦理上的意义，而从全球角度看为子孙后代保留可贵的天然能量资源也是人类应尽的责任。

节能工作，首先要定量地掌握所研究对象能量利用的效率。从而明确是否还有改善余地，以便制定节能目标。同时，还需要对系统内外能量有效利用的分配作进一步的了解，才能提出节能的具体措施。因此探讨能量利用效率和能量利用的分析方法是开展节能技术工作的重要手段。

一、热效率与炯效率

通常，为了掌握能量利用的情况，应对整个系统作必要的测定与分析，计算出带入的各项能量和带出的各项能量，从而求得为达到某项预定目标所必须使用的能量占实际使用能量的百分率即热效率。进而找出能量损失的数量和去向，分析主要矛盾，采取措施加以克服或回收，这是一种从数量上评价能量利用情况的方法，是以热力学第一定律为基础的。

根据热力学第二定律可知，能量有不同的形式，如热能、光能、化学能、机械能、电能等，彼此在数量上虽然可以当量互算，但在质量上却存在着明显差异。电能和机械能可以全部转化为热能，但热能却不能全部转化为机械能或电能，这种差异具体表现在对环境做功的能力上。因而同样 1 千焦的热量在 20°C、100°C、和 1000°C 条件下，其价值是不同的。为了表达能量质量上的这种差别，热力学引入了炯 ϵ (exergy) 与 炏 D (anergy) 的概念，来量度能量对给定环境而言的做功能力。做功能力愈强，炯值愈高，与之相对应，不能对环境做功的能量即为炏。炯与炏的代数和即为能量总值，而炯只能单向地转换为炏，炏的产生意味着能量的质量损失或品位的下降。

热力学第二定律还指出，定量热能要做最大功，必须通过可逆循环才能达到。其值显然与作功对象（环境）的温度有关。在 $T-S$ 图上可将此可逆过程表示为 $abcd$ 。

由图 1 可知，对温度为 T_1 的热源，其能量为

$$T_1(S_1 - S_0) = Q$$

其中有用功“炯”，只相当于面积 $abcd$ ，即：

$$\epsilon = (T_1 - T_0)(S_1 - S_0) = \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) T_1(S_1 - S_0) = Q \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right)$$

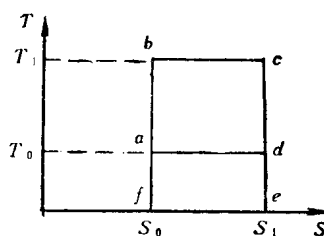


图 1 炯、炏与能
 T —温度； S —熵

与之相应, $D = T_0(S_1 - S_0)$, 即面积 $abef$ 表示不能对环境作功的能量“熵”。且

$$e + D = Q$$

由此可见, 熵也是热力学的一个参数, 但它与焓是两个不同概念。

根据系统焓量, 基于热力学第一定律可求得热效率 η_o :

$$\eta_o = \frac{\text{系统能完成焓的转移量}}{\text{投入系统的焓量}} \times 100\%$$

根据系统熵量, 基于热力学第二定律可以求得熵效率 η_e :

$$\eta_e = \frac{\text{系统能完成熵的转移量}}{\text{投入系统的熵量}} \times 100\%$$

通过以下简单实例可以清楚的说明。

用 1 公斤标准煤 (热值近似等于其熵值, 为 29300 千焦) 在室内燃烧取暖, 维持 25°C 恒温, 而室外环境温度为 0°C , 试求该过程的热效率与熵效率。

假设不计热损失, 则:

$$\eta_o = \frac{29300}{29300} \times 100\% = 100\%$$

被利用的熵量:

$$e = 29300 \left(1 - \frac{273}{273 + 25} \right) = 2458 \text{ 千焦}$$

则

$$\eta_e = \frac{2458}{29300} \times 100\% = 8.39\%$$

这是典型的高位 (能量) 低用的实例。如果用同样的煤去作回转窑燃料, 若窑内维持 1600°C , 则被利用的熵量:

$$e' = 29300 \left(1 - \frac{273}{273 + 1600} \right) = 25029 \text{ 千焦}$$

$$\eta_e' = \frac{25029}{29300} \times 100\% = 85.4\%$$

可见, 两种情况下热效率即使相等, 熵效率相差 10 倍以上。这就进一步阐明了能量的质量利用的效果, 是热力学概念的深入, 它启示人们利用能源时必须考虑其品位的损失。

热效率与熵效率虽是两个不同的概念, 却有着彼此对应的关系和内在联系。

$$\eta_o = \frac{Q_Y}{Q_o} = 1 - \frac{Q_L}{Q_o}$$

$$\eta_e = \frac{e_Y}{e_o} = 1 - \frac{e_L}{e_o} - \frac{e_S}{e_o}$$

式中 Q_o, e_o ——输入系统的热量、熵量;

Q_Y, e_Y ——系统中被有效利用的热量、熵量;

Q_L, e_L ——系统向外部损失的热量、熵量;

e_S ——由于过程的不可逆性引起内部损失的熵量。

若定义能量的品位系数 $\lambda = \frac{\text{热力学体系中熵}}{\text{热力学体系中能}} = \frac{e}{Q}$,

则

$$\eta_e = \frac{e_Y}{e_o} = \frac{\lambda_Y Q_Y}{\lambda_o Q_o} = \eta_Y \cdot \eta_o$$

式中 $\eta_a = \frac{\lambda_y}{\lambda_o} = \frac{\text{被有效利用热的品位系数}}{\text{输入热的品位系数}}$

炯效率是热力学上的新概念，计算炯效率首先要求得工质的炯量，这个问题相当复杂，有些目前仍然有待研究，因此只能就已掌握的资料给以说明。

二、系统中工质炯量的计算

根据热力学第二定律，温度为 T 的热源在热机中对温度为 T_0 的环境，在可逆条件下所作的最大功为：

$$\begin{aligned} e &= \int_T^{T_0} dW_{rev} = - \int_T^{T_0} dQ \frac{T - T_0}{T} = - \int_T^{T_0} \frac{T - T_0}{T} dH \\ &= - \int_T^{T_0} dH + T_0 \int_T^{T_0} \frac{dH}{T} = (H - H_0) - T_0(S - S_0) \end{aligned}$$

式中 W_{rev} ——最大可逆功；

Q ——热量；

H ——焓；

S ——熵。

这就是炯的定义式。即温度为 T ，压力为 P 的系统在变到与温度 T_0 、压力 P_0 的环境基准相平衡时，转变过程中所作的最大功。可见炯也是状态函，其特点不仅与体系状态有关还与环境状态相联系。

1. 稳定流动体系中工质所具有的炯值

压力不变，温度变化时（无相变）：

$$\begin{aligned} \Delta e_{(T)} &= (H - H_0) - T_0(S - S_0) = \int_{H_0}^H dH - T_0 \int_{S_0}^S dS \\ &= \int_{T_0}^T C_P dT - T_0 \int_{T_0}^T C_P \frac{dT}{T} \end{aligned}$$

设 C_P 为定值，积分可得：

$$\Delta e_{(T)} = C_P(T - T_0) - T_0 C_P L_n \frac{T}{T_0} = Q \left(1 - \frac{T_0}{T - T_0} L_n \frac{T}{T_0} \right)$$

温度不变，压力变化时（无相变）：

$$\Delta e_{(P)} = \int_{P_0}^P \frac{RT_0}{P} dP = RT_0 L_n \frac{P}{P_0}$$

式中 R ——气体常数。对于空气或烟气 R 为 0.287 千焦/公斤·开。

2. 温度 T 的系统中加入热量 Q 时炯值的增加量为：

$$\Delta e = \Delta H - T_0 \Delta S$$

$$\therefore \Delta H = Q, \Delta S = \frac{Q}{T}$$

$$\therefore \Delta e = Q - T_0 \frac{Q}{T} = Q \left(1 - \frac{T_0}{T} \right)$$

相当于卡诺热机所作的最大功。

3. 物质的化学焓值

一定状态下物质（化合物）的化学焓不仅与温度 T_0 、压力 P_0 的环境保持状态平衡，还包括在化学上也与环境保持平衡。

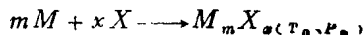
对于一个可逆反应过程来说，

$$\begin{aligned} \Delta e &= \Delta H - T_0 \Delta S = (H_2 - H_1) - T_0 (S_2 - S_1) \\ &= (H_2 - T_0 S_2) - (H_1 - T_0 S_1) = \Delta G^0 \end{aligned}$$

式中 ΔG^0 ——为反应前（状态1）后（状态2）物质的自由能的变化，也就是焓值的变化。

令基准状态（ T_0 ， P_0 ）下化合物 MX 的焓称为基准焓 e^* ，它取决于在 T_0 、 P_0 下进行化学反应时焓的增量（或减量）。

设元素 M 、 X 在 T_0 、 P_0 下生成同状态下的化合物 $M_m X_x$ 。



则化合物的 $e^*(M_m X_x)$ 可以用下式求得，

$$\begin{aligned} \therefore \Delta e &= e^*(M_m X_x) - me^*(M) - xe^*(X) \\ &= \Delta G^0(M_m X_x) \end{aligned}$$

$$\therefore e^*(M_m X_x) = \Delta G^0(M_m X_x) + me^*(M) + xe^*(X)$$

可见只要各元素基准焓已知，则化合物的基准焓可以求得。

元素的基准焓是指各元素在298.15开、1巴时最稳定态的焓，习惯上也将各元素间形成的化合物中最稳定的一个化合物的焓定为零，这样来确定其他化合物的基准焓。因此，在数值上带有很大的任意性。例如对燃烧反应，习惯上将空气中氧的基准焓作为计算其他元素基准焓的依据，因此，

$$\text{令 } e^*(\text{CO}_2) = 0 \qquad \therefore e^*_{\text{O}_2} = -\Delta G^0(\text{CO}_2) - 2e^*(\text{O})$$

$$\text{令 } e^*(\text{H}_2\text{O}) = 0 \qquad \therefore e^*_{\text{H}_2} = \frac{-\Delta G^0(\text{H}_2\text{O}) - e^*(\text{O})}{2}$$

其中元素基准焓和反应过程 ΔG^0 （化合物）可从热力学图表中查得。（2）（5）（7）

实际上各类燃料，根据组成计算其焓值很接近燃料的热值，故近似可取下式估算：

$$\text{气体燃料} \qquad e^* = 0.95Q_0$$

$$\text{液体燃料} \qquad e^* = 0.975Q_0$$

$$\text{固体燃料} \qquad e^* = Q_D + \gamma W$$

式中 Q_0 、 Q_D ——燃料的高位、低位热值；

W ——固体燃料全水分；

γ ——水的汽化潜热。

4. 机械能、电能的焓值

理论上可以完全作功，所以其能量值即为焓值。

三、能源利用的分析方法

1. 热平衡分析法

热平衡是热能的数量平衡，必须具有明确的空间界面和物料与热量的计算基准。

热平衡的目的是：①对能量转换、传递和最终利用的任一环节或整体的用能完善程度作出评价；②对能量损失的数量和原因作出分析和判断；③对节能的潜力作出估计。

热平衡分析法是大家所熟悉的，但由于体系的差异，在计算热效率时，可用不同的关系式来表达，通常采用体系模型作工具。

①串联模型

②并联模型

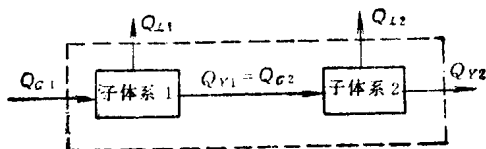


图2 串联模型

$$\eta_1 = \frac{Q_{Y1}}{Q_{G1}} \quad \eta_2 = \frac{Q_{Y2}}{Q_{G2}} \quad \eta = \eta_1 \cdot \eta_2$$

G ——系统收入总热量； Y ——系统支出有效热； L ——系统中热量损失；1——子体系1；2——子体系2

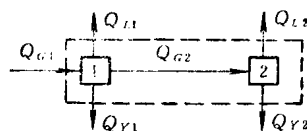


图3 并联模型

$$\eta = \frac{Q_{G1} - Q_{G2}}{Q_{G1}} \eta_1 + \frac{Q_{G2}}{Q_{G1}} \eta_2 = \sum_{i=1}^n W_i \eta_i$$

W_i ——各子体系供给能量的权；
 i ——任一子体系

③有余热利用体系

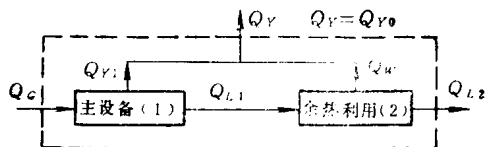


图4 闭式余热利用模型

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 - Q_W/Q_Y}$$

W ——系统中余热利用；

η_0 ——余热未利用时热效率

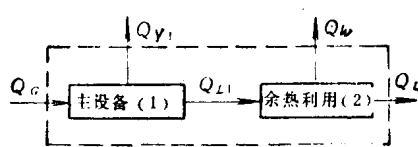


图5 开式余热利用模型

$$\text{对主设备 } \eta_1 = \frac{Q_{Y1}}{Q_G}$$

$$\text{对总体系 } \eta = \eta_1 + \frac{Q_W}{Q_G}$$

生产中有许多具体情况可对照模型进行计算。

2. 焓平衡分析法

从热力学第二定律的观点出发，能量有效利用的目标应该是“在系统中尽量抑制能量贬值、变质”。进行焓平衡，正是为了找出焓损失，并与热平衡分析所得结论相结合，找出改进措施，达到全面节能的目的。

焓平衡的方法和模型原则上与热平衡相类似，只是各平衡项是以焓为单位，其数值要根据能量平衡与熵平衡导出。具体焓平衡计算方法视系统特征而定，现举例给以说明。

【例1】某电热水器的焓平衡计算。

【解】用长度为 l 的电热器将一定流速的水由25℃加热到80℃，假定热水器内部温度分布近似直线[如图6中(b)]。

为考察系统中的焓平衡，可取微元长度电热器 dx 以分析其热量收支(见图7)。

设电热器某任意点, 在 dt 时间内, 水流动距离 dx 。电热元件表面温度 T_h , 水及器壁面温度均为 T_w , dx 区间电热元件传给水的热量 q_1 , 水向外散热量 q_2 。令 $q_2 = 0.1q_1$, 则:

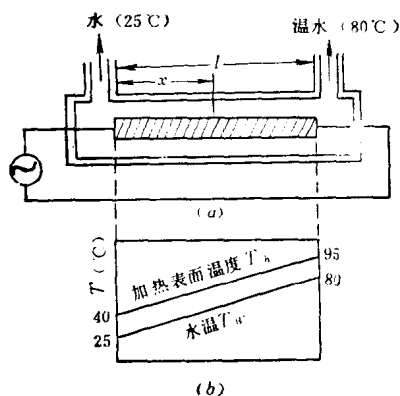


图 6 电热水器

(a)电热水器模型; (b)假定的温度分布

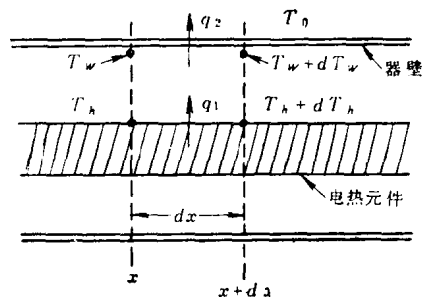


图 7 电热水器 $\rightarrow dx$ 段中热流分析

电热元件传给水的热量为

$$q_1 = K_1(T_h - T_w)$$

水蓄积热量为

$$(q_1 - q_2)dx = C_p[T_{w(x+dx)} - T_{w(x)}] = C_p dT_w$$

向外部环境散失热量为

$$q_2 = K_2(T_w - T_0)$$

式中比热 C_p 与对流传热系数 K_1 为常数。

在这个区间的熵平衡关系如下: (环境基准温度 T_0)。

①电源供给的熵等于发热量 $\Delta e = q_1$;

②电阻发热形成的熵增 $\Delta S = \frac{q_1}{T_h}$, 其熵损为:

$$\Delta e_s = T_0 \Delta S = q_1 \left(\frac{T_0}{T_h} \right) dx$$

③电热元件传热熵损失为:

$$\Delta e_s = q_1 \left(1 - \frac{T_0}{T_h} \right) dx$$

④从电热元件传热给水所产生的熵增值:

$$\Delta S = q_1 \left(\frac{1}{T_w} - \frac{1}{T_h} \right) dx$$

由不可逆性造成的熵损:

$$\Delta e_s = q_1 \left(\frac{T_0}{T_w} - \frac{T_0}{T_h} \right) dx$$

⑤水应得到的熵值:

$$\Delta e_s = q_1 \left(1 - \frac{T_0}{T_w} \right) dx$$

⑥水向环境散热造成的熵损:

$$\Delta e_6 = q_2 \left(1 - \frac{T_0}{T_w} \right) dx$$

⑦水增加的烟:

$$\Delta e_7 = (q_1 - q_2) \left(1 - \frac{T_0}{T_w} \right) dx$$

将上述各项在0~l范围内积分,并据此可绘得烟流图(图8)。计算结果列表1。

由图可见电源供给烟87.7%损失在电阻发热,而热水能获得的烟量仅为7.38%,可见此种加热方式费能大,一般情况下是不可取的。

【例2】某水—空气套管换热器如图9所示。试求系统烟平衡。

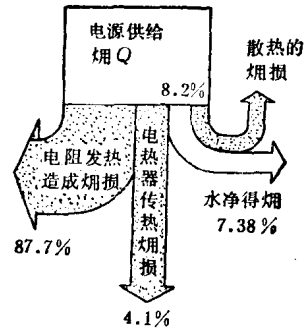


图8 电热水器烟流图

$$\eta_s = \frac{0.0738Q}{Q} \times 100\% = 7.38\%$$

表1

项 目	计 算 式	值
①	$Q = q_1 l = k_1 l (T_h^0 - T_w^0)$	Q
②	$\Delta e_2 = \frac{QT_c}{T_h^l - T_h^0} \ln \frac{T_h^l}{T_h^0}$	$0.877Q$
③	$\Delta e_3 = Q \left[1 - \frac{T_0}{T_h^l - T_h^0} \ln \frac{T_h^l}{T_h^0} \right]$	$0.123Q$
④	$\Delta e_4 = Q \left[\frac{T_0}{T_w^l - T_w^0} \ln \frac{T_w^l}{T_w^0} - \frac{T_0}{T_h^l - T_h^0} \ln \frac{T_h^l}{T_h^0} \right]$	$0.041Q$
⑤	$\Delta e_5 = Q \left[1 - \frac{T_0}{T_w^l - T_w^0} \ln \frac{T_w^l}{T_w^0} \right]$	$0.082Q$
⑥	$\Delta e_6 = 0.1Q \left[1 - \frac{T_0}{T_w^l - T_w^0} \ln \frac{T_w^l}{T_w^0} \right]$	$0.0082Q$
⑦	$\Delta e_7 = (1 - 0.1)\Delta e_6$	$0.0738Q$

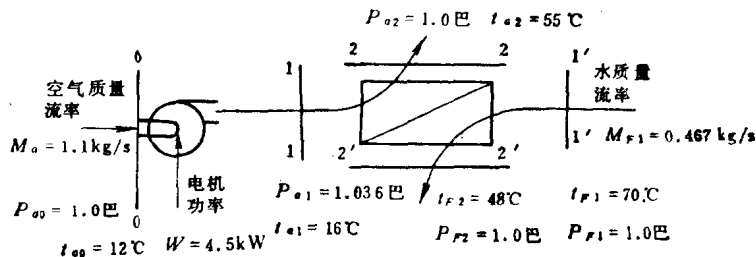


图9 水—空气换热器示意图

【解】①单位时间内流体烟流量:

$$e_{(T,P)} = M[(H - H_0) - T_0(S - S_0)] = M \left[C_p \left(T - T_0 - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right) + RT_0 \ln \frac{P}{P_0} \right]$$

式中 M ——流体质量流率。