

烧砖轮窑热平衡

Б. Н. 加 克 著

孙 承 緒 等译



建筑材料工业出版社

燒磚輪窑热平衡

Б. Н. 加 克 著

孙承緒等 譯

建筑·材料工業出版社

本書系根据苏联建筑材料工業出版社(Промстройиздат)出版的
Б.Н.加克著“燒磚輪審熱平衡”(Тепловой Баланс Кольцевых Кир-
пичеобжигательных Печей) 1952 年版譯出。

書中首先列出計算輪審熱平衡時所採用的基本公式及計算方
法,敘述了根据操作的数据如何編制全審熱平衡和各帶的熱平衡。
此外,还列举了采用斯大林獎金获得者 П. А.杜瓦諾夫及 И. Я.
馬佐夫的方法操作時輪審熱平衡計算的例題。對熱平衡亦作了簡略
的分析,考虑了輪審操作時各項指标的改變對燃料消耗的影响。最
后,为使輪審熱平衡的編制易于进行,書中扼要地概述了如何組織
熱平衡的試驗。

本書可供制磚工厂工程技術人員學習参考之用。亦可供高等學
校及中等專業學校(矽酸鹽專業及建築成品專業)教學參考用。

全書除序言由刘康時翻譯外其余部份均由孙承緒翻譯,并經陈
际武、鍾景中、孙承緒,刘康時校閱。全書的整理工作也是由孙承
緒担任的。

目 录

序言.....	4
第一章 热平衡的基本方程式.....	6
第二章 热平衡的計算的方法.....	9
第三章 輪密热平衡的計算举例.....	47
第四章 輪密热平衡的簡略分析.....	76
第五章 輪密的試驗.....	86
附录 1 輪密試驗結果綜合表.....	119
附录 2 天然燃料換算成标准燃料的系数.....	125
参考文献.....	129

序 言

在苏联随着基本建設大規模的开展就要求繼續不断地增加建筑磚的产量。

建筑磚生产的發展是基于先进的技术把制磚工厂装备起来，改进工艺制造过程和采用生产革新者的成就，基于充分地發揮現有工厂的潛力以及建造新的工厂。

对于日益發展着的制磚生产來說，节省燃料和降低燒成时單位产品的燃料消耗具有特別重要的意义。

詳細分析窯爐的热工操作对順利地解决这些問題有極大的帮助。用編制窯爐热平衡的方法来作这种分析，利用它可以闡明燃料消耗超过规定标准的原因，找出消除这种原因的途徑，对窯爐的結構及操作制度作出必要的改进。当然，由采用計算方法編制热平衡所得到的一些数据应和直接測量的实际数据相符合。

本書对編制环窯热平衡的方法上提出簡短的指南，供工厂的工程技术人員参考使用。

書中列出計算輪窯热平衡时所采用的基本公式及例題。根据实际操作的平均数据来編制全窯的热平衡及各帶的热平衡。計算的热量單位是生产 1000 塊磚时所消耗的卡数及百分率。

最初温度取 0° 或者取周圍介質的温度，在整个热平衡中此温度保持恒定，同时在相应的收入及支出热量項目內要考虑此温度。

另外單独地列举了采用斯大林獎金获得者 П. А. 杜瓦諾夫及 И. Я. 馬佐夫的方法进行操作的輪窯热平衡的計算例題。

在热平衡的分析中考虑了輪窯操作的各項指标改变时对單位燃料消耗量的影响。

关于窯的大小及 1 立方公尺窯容积內磚的产量对耗热量的影响在書中未加論述。当 1 立方公尺窯容积內磚的产量不断增加的情况下，要精確地解决上述問題必須繼續加以研究。

为了便热平衡的編制易于进行，書中簡單地敘述了如何組織

輪審的試驗以及如何測量各項制度（溫度、壓力、氣體的組成及流量）的主要指標。

關於測量的方法，儀器的安裝及檢查以及保證測量設備的正常操作，書中也提出了實際的指示。

作 者

第一章

热平衡的基本方程式

进入窑内的总热量（燃料的潜热及燃料、空气和物料的物理热）应等于有效耗热及全部损失热量之和：

$$Q_{\text{收入}} = Q_{\text{支出}}$$

热平衡可按全窑（称为综合平衡）及按各带来编制。

在焙烧建筑砖所用轮窑内的热收入项目由以下各项组成：

- 1) 燃料的潜热 $Q_{\text{燃}}$
- 2) 燃料的热含量（燃料的物理热） $Q_{\text{燃}_1}$
- 3) 助燃空气的热量 $Q_{\text{空}}$
- 4) 物料带入的热量 $Q_{\text{物}}$
- 5) 窑顶及窑墙砌体的热量（作各带平衡时采用） $Q_{\text{牆}}$
- 6) 进入干燥带的空气的热量（作各带平衡时采用） $Q_{\text{空}_1}$

全窑及各带的平衡的支出部分由下列热量消耗项目组成：

- 1) 大气吸附水分的蒸发 $Q_{\text{蒸、水}}$
- 2) 大气吸附水分加热到废气的温度 $Q_{\text{热、水}}$
- 3) 烧成时的化学反应 $Q_{\text{化}}$
- 4) 加热物料（作各带平衡时采用） $Q_{\text{热、物}}$
- 5) 加热窑墙及窑顶（作各带平衡时采用） $Q_{\text{牆}_1}$
- 6) 废气带走的热损失 $Q_{\text{廢}}$
- 7) 机械燃烧不完全的热量损失 $Q_{\text{机損}}$
- 8) 化学燃烧不完全的热量损失 $Q_{\text{化損}}$
- 9) 出窑砖带走的热量损失 $Q_{\text{磚損}}$
- 10) 燃料灰分带走的热量损失 $Q_{\text{灰}}$
- 11) 从火室排出供干燥带用的空气带走的热量损失（作各带平衡时采用） $Q_{\text{空}_2}$

12)通过窑頂及窑牆向周圍介質散失掉的热量 $Q_{周}$

在各帶平衡中，某帶的热收入項目能当作另一帶的热支出項目，反过来也是如此。

在平衡的支出部分中第1—4項系有效耗热量，第5—12項系热量損失。

所列举的热平衡項目包括了全窑及各帶平衡中的热收入与热支出項目。

按照第三章“热平衡計算举例”的数据可以确定在全部列出的項目中那些是属于全窑热平衡的，那些是属于各帶热平衡的。

全窑热平衡的基本方程式：

$$Q_{燃} + Q_{燃1} + Q_{空} + Q_{物} = Q_{蒸,水} + Q_{热,水} + Q_{化} + Q_{廢} + Q_{机損} + Q_{化損} + Q_{磚損} + Q_{灰} + Q_{周}$$

根据每个項目的計算可以判断热量在有效部分和損失部分之間的分配。所举的平衡方程式是以后計算的基础。

按照基本方程式編制热平衡时，热收入及热支出俱以1000塊磚所需热量（仟卡）計算之。

为了比較各窑的操作情况，更方便的是用相对数值来編制热平衡，所以平衡項目一般均以百分率來計算。

在各帶平衡的收入及支出部分中包括表示各該帶中的热收入及热支出的項目：

冷却帶的热平衡方程式：

$$Q_{热,物} + Q_{牆} + Q_{灰} = Q_{磚損} + Q_{周} + Q_{空1} + Q_{空} + Q_{灰} + Q_{牆1}$$

預热帶及燒成帶的热平衡方程式：

$$Q_{燃} + Q_{燃1} + Q_{空} + Q_{物} = Q_{牆1} + Q_{周} + Q_{热,物} + Q_{廢} + Q_{化} + Q_{机損} + Q_{化損} + Q_{灰}$$

干燥帶的热平衡方程式：

$$Q_{牆1} + Q_{空1} = Q_{蒸,水} + Q_{热,水} + Q_{周} + Q_{空2} + Q_{热,物}$$

在各帶平衡方程式內各量的数值相应于各帶的操作情况。

热平衡的全部項目記載入單独的表內（見第56頁表16），在此表內指出燒1000塊磚的热收入与热支出以及每項的百分

率。

热平衡計算的方法与例題是在密处于已确定的高温状态下来編制的。

第二章

热平衡的计算方法

热平衡收入项目的计算公式

1. 燃料的潜热—— $Q_{\text{燃}}$

烧 1000 塊磚所需燃料帶來的总热量按燃料消耗及其發热量依下式来决定:

$$Q_{\text{燃}} = BQ_n^p \text{ 仟卡/1000 塊磚,} \quad (1)$$

式中 $Q_{\text{燃}}$ ——总热量, 仟卡/1000 塊磚;

B ——燃料消耗量, 仟克或标准立方公尺^①/1000 塊磚;

Q_n^p ——实际燃料的低發热量, 仟卡/公斤 (固体燃料) 或仟卡/标准立方公尺 (气体燃料)。

燃料消耗量 B , 在鑒試驗期間由直接称重或測量測定之, 然后再換算为 1000 塊磚的燃料消耗量。

实际燃料的低發热量 Q_n^p 采用實驗室測定的数据。

假如在編制热平衡时缺少燃料低發热量的数据, 但有高發热量 Q_g^p 的数据, 則可按下式換算:

$$Q_n^p = Q_g^p - 6(9H^p + W^p) \text{ 仟卡/公斤,} \quad (2)$$

式中 H^p ——实际燃料內氫含量, %;

W^p ——实际燃料內水分含量, %;

Q_g^p ——燃料的高發热量, 仟卡/公斤。

H^p 及 W^p 数值采用燃料分析的数据。假如沒有 Q_g^p 的数据則 Q_n^p 可根据燃料元素分析的各项数据来计算。

此計算可根据門捷列夫公式进行:

① 标准立方公尺——标准立方公尺的气体体积 (在 0°C 及大气压为 760 公厘水銀柱下)。

固体燃料及重油的特性

产地区域	产地名称	标号及等級	符号	燃料中可燃物的 元素組成(%)						
				C ²	H ²	S _{0+K} ²	N ²	O ²		
有益煤										
頓涅茨区		長焰煤	Д	75.0	5.5	5.8	1.6	12.1		
		气煤	Г	80.5	5.4	4.3	1.5	8.3		
		鍋爐肥煤	ПДК	83.0	5.1	4.8	1.5	5.6		
		瘦煤	Т	90.0	4.2	2.2	1.5	2.1		
		“粒狀”無烟煤	AC	93.0	1.8	2.2	1.0	2.0		
		帶有粉末的 “粒狀”無烟煤	ACIII							
		帶有粉末的塊 狀無烟煤	APIII	93.0	1.8	2.2	1.0	2.0		
		粉末無烟煤	AII	93.0	1.8	2.2	1.0	2.0		
		煉焦用煤濕法 选矿时的廢料		80.0	5.5	6.2	1.7	6.6		
		煉焦用煤干法 选矿时的廢料		82.5	5.0	6.8	1.5	4.2		
庫茲涅茨区	安夜略—苏林矿区	鍋爐粘結煤	ПC	91.0	4.3	0.7	1.9	2.1		
	列宁矿区	气煤	Г	83.0	5.8	0.7	2.7	7.8		
		鍋爐粘結煤	ПC	88.5	4.5	0.5	1.8	4.7		
	普罗考比夫矿区	弱粘結煤	CC	89.0	4.6	0.5	2.2	3.7		
	克蔑洛夫矿区	弱粘結煤	CC	89.3	4.3	0.5	2.3	3.6		
	奧斯諾夫矿区	鍋爐肥煤	ПДК	86.5	5.5	0.5	2.7	4.8		
	阿拉里切夫矿区	瘦煤	Т	89.0	4.1	0.7	2.0	4.2		

(根据全苏热工研究所的数据)

表 1

Q_H^i (仟卡/仟克)	V^i (%)	A^o (%)	風干燃料 W^a (%)	燃料內操作物			(最大含量) (%)	
				AP (%)	WP (%)	Q_H^p	WP	A^o
7290	43.0	22.5	4.5	19.8	12.0	4900	16.0	30.0
7700	39.0	16.0	3.0	14.7	8.0	5900	11.0	25.0
8000	32.0	20.0	1.0	19.0	5.0	6050	8.0	30.0
8260	12.0	14.0	1.0	13.4	4.0	6800	8.0	27.0
7970	4.0	14.0	2.0	13.2	6.0	6400	9.0	22.0
7970	4.0	15.0	2.0	14.1	6.0	6330	10.0	27.0
7930	4.0	18.5	2.0	17.3	6.5	6000	10.0	26.5
7600	30.0	45.0	1.3	41.8	7.0	3850	14.0	50.0
7900	25.0	35.0	1.0	33.6	4.0	4900	6.0	45.0
8340	15.0	12.0	1.0	11.5	4.0	7030	8.0	16.0
7910	39.0	11.0	1.8	10.3	6.0	6580	11.0	14.0
8200	18.0	13.0	1.0	12.1	7.0	6590	9.0	17.0
8180	18.0	11.0	1.0	10.3	6.0	6800	10.0	16.0
8200	18.0	10.0	1.0	9.3	7.0	6820	9.0	14.0
8230	28.0	11.0	1.0	10.2	7.0	6770	11.0	17.0
8150	10.0	18.0	1.5	17.1	5.0	6320	9.0	22.0

产地区域	产地名称	标号及等级	符号	燃料中可燃物的 元素组成(%)				
				C ²	H ²	S _{o+k} ²	N ²	O ²
莫斯科近郊区		塊狀褐煤	БР	—	—	—	—	—
		粉狀褐煤	БМ	67.5	5.0	5.9	1.3	20.3
烏拉爾区	克蔑洛夫矿区	鍋爐肥煤	ПДК	80.0	5.6	8.1	1.2	5.1
		选矿时的廢料	ПДК	79.0	5.4	9.9	1.7	4.0
	波哥斯罗夫矿区	塊狀褐煤	БР	70.0	4.7	0.5	1.5	23.3
	齐略宾矿区	褐煤	Б	72.0	5.1	1.8	1.7	19.4
	耶哥尔琛矿区	塊狀無烟煤	АР	90.0	3.7	0.6	0.6	5.1
	吉尔吉斯苏維埃社会主义共和国	褐煤	Б	76.0	4.2	1.8	1.0	17.0
蘇維埃社会主义共和国	苏留克金矿区	褐煤	Б	77.5	4.0	0.7	0.8	17.0
	可卡加克矿区	烟煤	Г	77.0	5.0	2.5	1.0	14.5
	克世庫梅尔矿区	烟煤	Г	79.0	4.9	0.6	1.2	14.3
韃靼苏維埃社会主义共和国	樹拉布矿区	塊狀褐煤	БР	74.0	4.4	2.8	0.8	18.0
其 他 燃 料								
快速煉焦爐的焦粉				94.5	0.8	2.0	1.5	1.2
慢速煉焦爐的焦粉				92.0	2.2	2.0	1.5	2.3
塊狀泥炭				57.8	6.0	0.3	2.5	33.4
削切的泥炭				57.8	6.0	0.3	2.5	33.4
木柴				51.0	6.1	—	0.6	42.3
含硫份少的重油				87.5	10.7	1.0	0.8	—
含硫份多的重油				84.0	11.5	4.0	0.5	—

續表 1

Q_N^s (仟卡/仟克)	V^s (%)	A^c (%)	風干燃料 W^a (%)	燃料內操作物			(最大含量) (%)	
				AP (%)	WP (%)	Q_N^p	WP	A^c
—	—	16.0	—	—	27.0	—	32.0	20.0
6290	45.0	27.5	8.0	18.4	33.0	2860	37.0	37.0
7770	40.0	27.5	1.0	26.4	4.0	5380	9.0	33.0
7600	40.0	35.0	1.0	32.2	8.0	4500	—	—
6230	43.0	20.0	15.0	14.0	30.0	3310	35.0	25.0
6620	40.0	27.0	9.0	21.9	19.0	3800	24.0	36.0
7980	7.0	24.0	1.5	22.5	6.0	5670	9.0	30.0
6780	33.0	15.0	11.5	10.9	27.0	4020	30.0	20.0
6780	30.0	15.0	11.5	11.9	21.0	4420	25.0	20.0
7170	35.0	19.0	6.5	16.2	14.0	4910	18.0	23.0
7300	35.0	13.0	5.0	11.7	9.0	5730	15.0	21.0
6640	40.0	28.0	10.0	21.3	24.0	3490	30.0	33.0
7750	3.5	18.0	1.0	14.7	18.0	5110	25.0	23.0
7900	9.0	20.0	2.0	16.0	20.0	4940	25.0	25.0
5240	70.0	11.0	11.0	7.2	35.0	2820	53.0	—
5240	70.0	11.0	11.0	6.1	45.0	2290	55.0	—
4510	85.0	1.0	7.0	0.6	40.0	2440	—	—
9700	—	0.2	—	0.2	3.0	9370	8.0	—
9700	—	0.2	—	0.2	3.0	9370	8.0	—

$$Q_n^p = 81C^p + 300H^p - 26(O^p - S^p) - 6(9H^p + W^p) \text{ 仟卡/公斤,} \quad (3)$$

式中 C^p, H^p, O^p, S^p 及 W^p —— 实验室测定燃料各组成的百分含量。

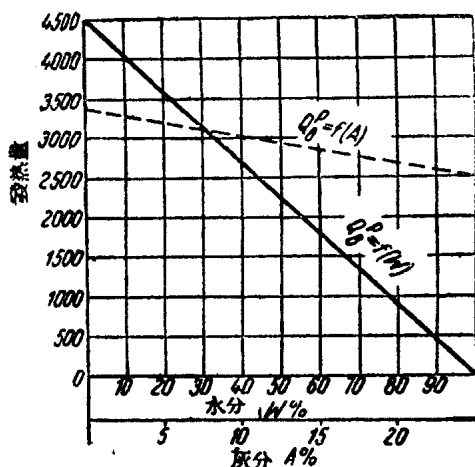


圖 1 水分与灰分的改变对泥炭發热量的影响

以及其于燃料質量的平均数据相比較，表 1 举出了固体燃料及重油的特性。

在某些情况下燃料分析給出以干物質及可燃物質为基准的百分率。为了把燃料的各个組成及其高發热量从一种基准换算为另一种基准可以采用換算系数（表 2）。

燃料組成的換算系数

表 2

已知的燃料基准	所 求 的 燃 料 基 准		
	可 燃 的	干 的	实 际 的
可燃的	1	$\frac{100 - A^c}{100}$	$\frac{100 - (A^p + W^p)}{100}$
干 的	$\frac{100}{100 - A^c}$	1	$\frac{100 - W^p}{100}$
实际的	$\frac{100}{100 - (A^p + W^p)}$	$\frac{100}{100 - W^p}$	1

送到工厂的燃料質量的波动会影响热平衡計算的精确性。所以，为了获得热收入的实际数据必須由实验来确定热平衡計算中要求的燃料的發热量或燃料的組成。

圖 1 指出水分与灰分对燃料（泥炭）發热量的影响。

为了檢查实验数据

按照方程式(2)把 Q_{θ}^p 換算為 Q_n^p ，式中之 H 和 W 對相應之基準採用之（其中 W 對於實際燃料為 W^p ，對於干的及可燃的燃料為零）。

表3舉出由燃料高發熱量換算為低發熱量(仟卡/公斤)的公式。

確定燃料低發熱量的公式

表 3

物 質 名 稱	公 式
可燃物	$Q_n^i = Q_{\theta}^i - 54H^i$
干物	$Q_n^c = Q_{\theta}^c - 54H^c$
實際物	$Q_n^p = Q_{\theta}^p - 6(9H^p + W^p)$

在水分 W^{p_1} 及灰分 A^{p_1} 變為 W^{p_2} 及 A^{p_2} 時，燃料元素組成及高發熱量的換算可採用下列系數：

$$\frac{100 - W^{p_2}}{100 - W^{p_1}}, \quad \frac{100 - A^{p_2}}{100 - A^{p_1}} \quad \text{和} \quad \frac{100 - W^{p_2} - A^{p_2}}{100 - W^{p_1} - A^{p_1}},$$

把需換算的燃料組成部分乘上此系數。當必須由一種水份 W^{p_1} 變為另一水份 W^{p_2} 來換算實際燃料的低發熱量時可用下式：

$$Q_{n_2}^p = (Q_{n_1}^p + 6W^{p_1}) \frac{100 - W^{p_2}}{100 - W^{p_1}} - 6W^{p_2} \text{ 仟卡/仟克} \quad (4)$$

當採用混合燃料來焙燒時，混合物的平均組成可按加入混合燃料中的元素組成及每組成的百分含量來計算。

假如已知混合燃料的重量組成，則1公斤混合燃料的發熱量按下式計算：

$$Q_n^p = Q_{n_1}^p x_1 + Q_{n_2}^p (1 - x_1) \text{ 仟卡/仟克} \quad (5)$$

式中 x_1 ——混合燃料內一種燃料的重量組成。

因為泥炭是輪窯內最常採用的燃料之一，所以讓我們來研究一下泥炭元素組成及發熱量與其水分的關係（表4）。

泥炭元素組成及 Q_H^p 与其水分的关系

表 4

水分 W (%)	C^p	H^p	N^p	O^p	S^p	A^p	Q_H^p
0	53.3	5.3	2.4	30.2	0.3	8.5	4840
10	48.0	4.8	2.1	27.2	0.2	7.7	4310
15	45.4	4.5	2.0	25.7	0.2	7.2	4030
20	42.7	4.2	1.9	24.2	0.2	6.8	3750
25	40.0	4.0	1.8	22.6	0.2	6.4	3490
30	37.3	3.7	1.7	21.1	0.2	6.0	3210
35	34.7	3.5	1.5	19.6	0.2	5.5	2960
40	32.0	3.2	1.4	18.1	0.2	5.1	2680
45	29.3	2.9	1.3	16.6	0.1	4.7	2890
50	36.7	2.7	1.2	15.1	0.1	4.2	2140

假如固体燃料的数量按体积来测定，則其重量可按表 5 的数据来计算，但只是粗略的计算才允许按体积来算出燃料的数量。

在热平衡编制中必须进行燃料的重量计算。

若干种燃料的平均堆积重量

表 5

燃 料 名 称	1 立方公尺的平均 重量 (公斤)
机械成型的泥炭 (高水分, $W=50\%$)	560
風干泥炭 ($W=25\%$)	370
削切的泥炭	300
莫斯科近郊的煤	900
烟煤	875
無烟煤 AK	875
無烟煤 ALL	950
焦屑	500
煤渣:	
(1) 莫斯科近郊的煤: 大塊	750
粉末	700