

**QB**

# 中华人民共和国行业标准

QB/T 2126~2131—95

---

## 日用陶瓷窑、炉、器 热能测定与计算方法

1995—06—07发布

1996—03—01实施

---

中国轻工总会 发布

中华人民共和国行业标准

QB/T 2130—95

日用陶瓷彩烤辊道窑  
热平衡、热效率测定与计算方法

1 主题内容与适用范围

本标准规定了日用陶瓷工业中彩烤陶瓷制品辊道窑的热平衡、热效率测定与计算方法。

本标准适用于日用陶瓷制品彩烤过程中，使用液体、固体、气体燃料以及电能的辊道窑的热平衡、热效率的测定与计算。对于彩烤其他陶瓷制品辊道窑、素烧辊道窑热平衡、热效率的测定与计算亦可参照本标准，并根据具体情况增删测定项目。

2 引用标准

- GB 211 煤中全水分的测定方法
- GB 3534 日用陶瓷器铅、镉溶出量的测定方法
- GB 212 煤的工业分析方法
- GB 384 石油产品热值测定法

3 单位、符号与基准

3.1 计量单位

本标准采用国家法定计量单位(SI)。

卡与焦耳的换算，本标准规定采用20℃卡，即 $1\text{cal} = 4.1816\text{J}$ 。

毫米水柱与帕斯卡的换算为： $1\text{mmH}_2\text{O} = 9.8066\text{Pa}$ 。

3.2 符号

见附录A(补充件)。

3.3 基准

3.3.1 温度基准： $0^\circ\text{C}$ ，即 $T_0 = 273.15\text{K}$ 。

3.3.2 物料基准： $1\text{kg}$ (产品)。

3.4 术语

3.4.1 半成品

白胎加彩待烤的陶瓷制品。

3.4.2 彩烤周期

半成品从进入辊道窑内彩烤成为成品而离开窑体的时间。

4 测定项目及测定方法

4.1 测定前的准备

4.1.1 组织测定人员学习有关测定技术及安全规定，明确测定意义，熟悉仪表性能，掌握测定方法。

4.1.2 根据表1制定的测定方案，做好测定人员的岗位分工和测定要求。

4.1.3 参照附录G（参考件），准备好测定用仪表，进行必要的校正，使之达到规定的精度。

4.1.4 了解所测辊道窑的设计、生产及维修史，检查窑的建造、运行等技术资料。

4.1.5 检测出窑产品的铅、镉溶出量，若不符合国家标准，则需调试窑炉待稳定后再测定。

4.1.6 布置测量点，开设测量孔，安装测量仪表。

## 4.2 热平衡方框图

4.2.1 作热平衡计算时，为了防止将热收入和热支出的项目遗漏，常用一个方框图将所有的收入和支出项目逐一标出。见图1。

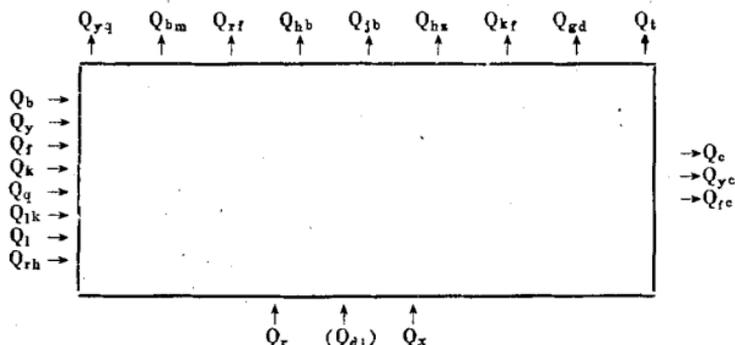


图1 热平衡方框图

4.2.2 本标准对日用陶瓷彩烤辊道窑体系的划分，窑体以外表面为界，窑底部以地平面为界，风、溜、气、汽管道以离窑最近测点为界。界线以外均不在体系内。

余热利用单独计算。

## 4.3 测定时间

4.3.1 辊道窑至少要稳定在一个彩烤周期后方可进行测定。

4.3.2 总连续测定时间不得少于一个彩烤周期。

## 4.4 测定步骤

4.4.1 测定期间所用原料、燃料成分及半成品装入量等生产条件均应保持稳定。

4.4.2 测定项目及测定方法按表1进行。

## 4.5 测定结果的计算及分析

4.5.1 测定完毕对原始数据进行系统的整理、存档。

4.5.2 按照第5、6章的内容进行热平衡和热效率计算。

4.5.3 对有疑异的数据和漏测的项目，应进行补测、计算。

4.5.4 对计算最终结果进行分析研究，提出评估意见。

4.6 彩烤辊道窑的基本情况 & 实测数据综合表按附录B（补充件）表B<sub>1</sub>和B<sub>2</sub>逐项填写。

表1 测定项目及测定方法

项目	测定参数	测定时间	测点选择	测定方法
温               度	1.燃料入窑温度 $t_f, ^\circ\text{C}$	每隔 1/4周期 测一次	油、气燃料在入窑前管道上测定; 煤在炉前的煤堆中测定	使用表面温度计或 水银温度计测定取 平均值
	2.周围空气温度 $t_o, ^\circ\text{C}$		在空气流通处且不受窑温影响的地方	
	3.漏入空气温度 $t_{lk}, ^\circ\text{C}$			
	4.助燃空气温度 $t_k, ^\circ\text{C}$		机械送风助燃在入窑前管道上测定 自然送风助燃在炉前空气流通处测定	
	5.雾化空气温度 $t_{wk}, ^\circ\text{C}$		烧嘴前雾化空气管道截面中心取点	
	6.雾化蒸汽入窑温度 $t_q, ^\circ\text{C}$		烧嘴前雾化蒸汽管道截面中心取点	
	7.冷却空气入窑温度 $t_l, ^\circ\text{C}$		冷风管道入窑前1~2m处截面中心 取点	
	8.离窑烟气温度 $t_{yq}, ^\circ\text{C}$		总烟道和支烟道交汇处截面中心取 点	
	9.抽出热风温度 $t_{rf}, ^\circ\text{C}$		热风管道离窑1~2m处截面中心取 点	
	10.排铅热风温度 $t_p, ^\circ\text{C}$		排铅热风管道离窑1~2m处截面中 心取点	
	11.半成品入窑温度 $t_b, ^\circ\text{C}$		窑具的同一断面上、中、下及左、 右取样,入窑温度在入窑前测定, 出窑温度在出窑时5min以内迅速 测定	
	12.产品的出窑温度 $t_c, ^\circ\text{C}$			
	13.辅助材料的入窑温 度 $t_s, ^\circ\text{C}$			
	14.辅助材料的出窑温 度 $t_{sc}, ^\circ\text{C}$			
	15.窑具的入窑温度 $t_y, ^\circ\text{C}$		窑具的前后,左右及底部取点,入 窑温度在入窑前测定,出窑温度在 出窑时5min以内迅速测定	
	16.窑具的出窑温度 $t_{yc}, ^\circ\text{C}$			

续表 1

项目	测定参数	测定时间	测点选择	测定方法
温度	17.最高彩烤温度 $t_{ok}, ^\circ\text{C}$	周期内 测一次	在窑具的同一断面上、中、下及左、中、右放置测温三角锥组测定	使用标准sk三角锥, 选择合适锥号三个一组, 按标准插入泥座, 测取平均值
	18.窑顶各个测区的表面平均温度 $t_{d1}, ^\circ\text{C}$		先用点温计或表面温度计沿窑长方向找出表面温度改变相近区为一个测区, 在测区内, 窑顶选择左、中、右若干个测点, 窑墙选择上、中、下若干个测点	使用点温计或表面温度计测量, 取其平均温度作为各个测区的温度
	16.窑墙各个测区的表面平均温度 $t_{q1}, ^\circ\text{C}$			
	20.炉膛内的温度 $t_i, ^\circ\text{C}$	每隔1/2 周期测一次	炉口及各个孔洞处	使用铂铑—铂热电偶和动图式指示仪测定
	21.灰渣的平均温度 $t_{hz}, ^\circ\text{C}$		在每只炉子的炉栅上的灰渣层中	使用镍铬—镍硅热电偶和动图式指示仪测定, 热电偶沿炉栅方向插入灰层深度为50mm
	22.各个测点至窑体表面的管道表面平均温度 $t_p, ^\circ\text{C}$		管道外壁的四周取点	使用表面温度计或点温计测定
	23.重油乳化水温度 $t_{rh}, ^\circ\text{C}$		在乳化装置前管道上取点	
24.窑外辊道温度 $t_{wg}, ^\circ\text{C}$	窑外裸露辊道上取点			
热流	1.窑顶表面各个测区的平均热流密度 $q_{d1}, \text{W/m}^2$	周期内 测一次	先用点温计或表面温度计沿窑长方向找出表面温度改变相近区为一个测区, 在测区内, 窑顶选择左、中、右若干个测点, 窑墙选择上、中、下若干个测点	用热流计测得各点的热流密度取其平均值作为各个测区的平均热流密度
	2.窑墙表面各个测区的平均热流密度 $q_{q1}, \text{W/m}^2$			
气流	冷却空气	1.测点处管道截面积 $A_1, \text{m}^2$	风管直管部位, 大于3D处选面	卷尺测量后计算
		2.动压 $P_{1d}, \text{Pa}$ 静压 $P_{1j}, \text{Pa}$	在所测截面处选点 详见附录E	使用毕托管和倾斜式微压计
		3.流速 $\omega_1, \text{m/s}$		使用热球式电风速计

续表 1

项目	测定参数	测定时间	测点选择	测定方法		
气	助燃空气	4.测点处管道截面积 $A_k, m^2$	周期内 测一次	风管直管部位, 大于 $3D$ 处选面	卷尺测量后计算	
		5.动压 $p_{kd}, Pa$ 静压 $p_{kj}, Pa$	每隔1/2 周期测一次	在所测截面处选点 详见附录E	使用毕托管和倾斜 式微压计	
		6.流速 $\omega_k, m/s$			使用热球式电风速 计	
	雾化空气	7.测点处管道截面积 $A_w, m^2$	周期内 测一次	风管直管部位, 大于 $3D$ 处选面	卷尺测量后计算	
		8.动压 $p_{wd}, Pa$ 静压 $p_{wj}, Pa$	每隔1/2 周期测一次	在所测截面处选点 详见附录E	使用毕托管和倾斜 式微压计	
		9.流速 $\omega_w, m/s$			使用热球式电风速 计	
	蒸汽	10.雾化蒸汽流量 $V_q, m^3/kg$ 产品	周期测一次	烧嘴前蒸汽主管道上选面	使用蒸汽流量计测 定, 由全周期换算 得到	
	流	抽出热风	11.测点处管道截面积 $A_r, m^2$	周期内 测一次	风管直管部位, 大于 $3D$ 处选面	卷尺测量后计算
			12.动压 $p_{rd}, Pa$ 静压 $p_{rj}, Pa$	每隔1/2 周期测一次	在所测截面处选点 详见附录E	使用毕托管和倾斜 式微压计
13.流速 $\omega_r, m/s$					使用高温风速计	
排铅热风		14.测点处管道截面积 $A_p, m^2$	周期内 测一次	风管直管部位, 大于 $3D$ 处选面	卷尺测量后计算	
		15.动压 $p_{pd}, Pa$ 静压 $p_{pj}, Pa$	每隔1/2 周期测一次	在所测截面处选点 详见附录E	使用毕托管和倾斜 式微压计	
		16.流速 $\omega_p, m/s$			使用高温风速计	
烟 气	17.测点处管道截面积 $A_y, m^2$	周期内 测一次	风管直管部位, 大于 $3D$ 处选面	卷尺测量后计算		
	18.动压 $p_{yd}, Pa$ 静压 $p_{yj}, Pa$	每隔1/2 周期测一次	在所测截面处选点 详见附录E	使用毕托管和倾斜 式微压计		
	19.流速 $\omega_y, m/s$			使用高温风速计		
质 量	1.燃料的消耗量 $m_r, kg/kg$ 产品	全周期测定	油、气燃料在入窑前管路上测定, 煤在各炉前的煤堆中测定	油、气用流量计, 煤用磅秤称量, 由 全周期换算得到		

注: D为被测管道直径。

续表 1

项 目	测 定 参 数	测定时间	测 点 选 择	测 定 方 法
质 量	2. 容具的质量 $m_y$ , kg/kg产品	周期内 测一次	随机抽取5~8件样品	用磅秤称量, 由全 周期换算得到
	3. 辅助材料的质量 $m_x$ , kg/kg产品			
	4. 半成品的质量 $m_b$ , kg/kg产品			
	5. 出窑产品的质量 $m_o$ , kg/kg产品			
	6. 灰渣的质量 $m_{bz}$ , kg/kg产品	全周期测定	灰坑清灰时测定	
气 体 分 析	1. 燃烧产物的组成, %	每隔1/2 周期测一次	预热带和烧成带交界处的窑道内汇 总烟道断面中部取样	使用气体分析仪分 析记录, 测定5次取 平均值, 详见附录H
	2. 烟气的组成, %			
其 它	1. 燃料的低位发热量 $Q_{dw}$ , kJ/kg燃料 (kJ/m <sup>3</sup> 燃料)	周期内 测一次	油、气燃料在入窑前管路上利用旁 通管路取样, 煤在炉前的煤堆中取 样	使用热量计测定或 根据燃料的组成计 算, 详见附录D
	2. 电热体的平均功率 $P$ , kW/kg产品	全周期测定	电热体的电路上测定	使用钳型电流表和万 用表测量, 取平均值
	3. 电热体的通电时间 $\tau$ , h			用计时器实测
	4. 燃料的含水率 $W_w$ , %	周期内 择时进行	油、气燃料在入窑前管路上利用旁 通管路取样, 煤在炉前的煤堆中取 样	详见GB 211 和GB 212
	5. 煤中灰分分数 $W_b$ , %			
	6. 灰渣中的含碳率 $W_i$ , %			
	7. 大气压强 $p_d$ , Pa			
8. 空气相对湿度 $\phi$ , %	周围环境	使用空盒大气压表 测取		
9. 铅、镉溶出量 $\mu$ , ppm	测定前	随机抽取5~8件出窑产品	详见GB 3534	
10. 各个测点至窑体表 面的管道表面积 $A_{gd}$ , m <sup>2</sup>	周期内 测一次	测点至窑体的管道	卷尺测量后计算	

## 5 热平衡计算方法

## 5.1 热收入

5.1.1 燃料燃烧的化学热 $Q_r$ , kJ/kg产品

$$Q_r = m_r \cdot Q_{y_{dw}} \dots\dots\dots (5-1)$$

式中： $m_r$ ——燃料的消耗量，kg/kg产品或 $m^3$ /kg产品；

$Q_{y_{dw}}$ ——燃料应用基时的低位发热量，kJ/ $m^3$ 燃料或kJ/kg燃料，见附录D。

5.1.2 电热体发出的热量 $Q_{dl}$ , kJ/kg产品

$$Q_{dl} = 3600 \cdot P \cdot \tau \dots\dots\dots (5-2)$$

式中：3600——kW·h与kJ的换算系数；

$P$ ——电热体的平均功率，kW/kg产品；

$\tau$ ——电热体的通电时间，h。

5.1.3 燃料带入的显热 $Q_x$ , kJ/kg产品

$$Q_x = m_r \cdot c_r \cdot t_r \dots\dots\dots (5-3)$$

式中： $t_r$ ——燃料入窑的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$c_r$ ——燃料的比热容，kJ/(kg· $^{\circ}\text{C}$ )或kJ/( $m^3$ · $^{\circ}\text{C}$ )。

各种燃料的比热容不同。

重油： $c_r = 1.74 + 0.0025t_r$

煤的比热容见附录F表F1。

气体： $c_r = 0.01 \sum (X_i \cdot c_i)$

式中： $X_i$ ——各种气体成分在燃料或烟气中的体积分数，%；

$c_i$ ——各种气体成分的平均比热容，kJ/( $m^3$ · $^{\circ}\text{C}$ )，见附录F表F4。

注：如燃料中含水率较高时，计算其显热可把燃料和水分开计算。

$$Q_x = m_r \cdot t_r [(1 - W_r) \cdot c_r + 4.1816W_r]$$

式中： $W_r$ ——燃料的含水率，%。

5.1.4 助燃空气带入的显热 $Q_k$ , kJ/kg产品

$$Q_k = V_k \cdot c_k \cdot t_k \dots\dots\dots (5-4)$$

式中： $t_k$ ——助燃空气入窑的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$c_k$ ——助燃空气的比热容，kJ/( $m^3$ · $^{\circ}\text{C}$ )，见附录F表F4；

$V_k$ ——助燃空气量， $m^3$ /kg产品。

$$V_k = \alpha_a \cdot m_r \cdot V_a^*$$

式中： $\alpha_a$ ——彩烤带的平均空气过剩系数；

$V_a^*$ ——理论空气量， $m^3$ /kg燃料或 $m^3$ / $m^3$ 燃料，见附录C。

注：烧油时如果雾化空气与助燃空气入窑的温度不同，应分开计算其流量与带入的显热。

$$Q_{wk} = V_k \cdot c_k \cdot t_k + V_{wk} \cdot c_{wk} \cdot t_{wk} \dots\dots\dots (5-5)$$

式中： $Q_{wk}$ ——雾化空气和助燃空气带入的显热，kJ/kg产品；

$V_{wk}$ ——雾化空气量， $m^3$ /kg产品，用毕托管测后计算，详见附录E；

$c_{wk}$ ——雾化空气的比热容，kJ/( $m^3$ · $^{\circ}\text{C}$ )，见附录F表F4；

$t_{wk}$ ——雾化空气入窑的温度，℃。

### 5.1.5 雾化蒸汽带入的显热 $Q_q$ ，kJ/kg产品

$$Q_q = 1.93m_q \cdot t_q \dots\dots\dots (5-6)$$

式中： $m_q$ ——雾化蒸汽量，kg/kg产品，蒸汽体积与质量的换算见附录F表F8；

1.93——雾化蒸汽在0~250℃之间的平均比热容，kJ/(kg·℃)；

$t_q$ ——雾化蒸汽入窑的温度，℃。

### 5.1.6 漏入空气带入的显热 $Q_{lk}$ ，kJ/kg产品

$$Q_{lk} = V_{lk} \cdot c_{lk} \cdot t_{lk} \dots\dots\dots (5-7)$$

式中： $t_{lk}$ ——漏入空气的温度，℃；

$c_{lk}$ ——漏入空气的比热容，kJ/(m<sup>3</sup>·℃)，见附录F表F4；

$V_{lk}$ ——漏入空气量，m<sup>3</sup>/kg产品。

$$V_{lk} = m_r \cdot (\alpha_y - \alpha_a) V^0_k$$

式中： $\alpha_y$ ——排出烟气的空气过剩系数。

### 5.1.7 冷却空气带入的显热 $Q_1$ ，kJ/kg产品

$$Q_1 = V_1 \cdot c_1 \cdot t_1 \dots\dots\dots (5-8)$$

式中： $V_1$ ——冷却空气量，m<sup>3</sup>/kg产品，见附录E；

$c_1$ ——冷却空气的比热容，kJ/(m<sup>3</sup>·℃)，见附录F表F4；

$t_1$ ——冷却空气入窑的温度，℃。

### 5.1.8 半成品带入的显热 $Q_b$ ，kJ/kg产品

$$Q_b = m_b \cdot c_b \cdot t_b \dots\dots\dots (5-9)$$

式中： $m_b$ ——半成品的入窑质量，kg/kg产品；

$c_b$ ——半成品的比热容，kJ/(kg·℃)，见附录F表F2；

$t_b$ ——半成品入窑的温度，℃。

### 5.1.9 窑具带入的显热 $Q_y$ ，kJ/kg产品

$$Q_y = m_y \cdot c_y \cdot t_y \dots\dots\dots (5-10)$$

式中： $m_y$ ——窑具的质量，kg/kg产品；

$c_y$ ——窑具入窑时的比热容，kJ/(kg·℃)，见附录F表F2；

$t_y$ ——窑具入窑的温度，℃。

### 5.1.10 辅助材料带入的显热 $Q_f$ ，kJ/kg产品

$$Q_f = m_f \cdot c_f \cdot t_f \dots\dots\dots (5-11)$$

式中： $m_f$ ——辅助材料的质量，kg/kg产品；

$c_f$ ——辅助材料入窑时的比热容，kJ/(kg·℃)，见附录F表F2；

$t_f$ ——辅助材料入窑的温度，℃。

### 5.1.11 重油乳化掺水带入的显热 $Q_{rh}$ ，kJ/kg产品

$$Q_{rh} = 4.1816m_w \cdot t_{rh} \dots\dots\dots (5-12)$$

式中： $m_w$ ——重油乳化掺水量，kg/kg产品；

4.1816——重油乳化水的比热容，kJ/(kg·℃)；

$t_{rh}$ ——乳化水的温度，℃。

5.1.12 总热收入 $Q_{sr}$ , kJ/kg产品

$$Q_{sr} = Q_r(Q_{dl}) + Q_x + Q_k(Q_{wk}) + Q_i + Q_{1k} + Q_1 + Q_b + Q_y + Q_f + Q_{rh}$$

..... (5-13)

## 5.2 热支出

5.2.1 产品带出的显热 $Q_c$ , kJ/kg产品

$$Q_c = m_c \cdot c_c \cdot t_c$$

..... (5-14)

式中： $m_c$ ——产品出窑的质量，以1kg产品计；

$c_c$ ——产品的平均比热容，kJ/(kg·℃)，见附录F表F2；

$t_c$ ——产品出窑的温度，℃。

5.2.2 窑具带出的显热 $Q_{yc}$ , kJ/kg产品

$$Q_{yc} = m_y \cdot c_{yc} \cdot t_{yc}$$

..... (5-15)

式中： $c_{yc}$ ——窑具出窑时的比热容，kJ/(kg·℃)，见附录F表F2；

$t_{yc}$ ——窑具出窑的温度，℃。

5.2.3 辅助材料带出的显热 $Q_{fc}$ , kJ/kg产品

$$Q_{fc} = m_f \cdot c_{fc} \cdot t_{fc}$$

..... (6-16)

式中： $c_{fc}$ ——辅助材料出窑时的比热容，kJ/(kg·℃)，见附录F表F2；

$t_{fc}$ ——辅助材料出窑的温度，℃。

5.2.4 离窑烟气带走的显热 $Q_{yq}$ , kJ/kg产品

$$Q_{yq} = Q_{gy} + Q_a$$

..... (5-17)

5.2.4.1 干烟气带走的显热 $Q_{gy}$ , kJ/kg产品

$$Q_{gy} = V_{gy} \cdot c_{gy} \cdot t_{yq}$$

..... (5-18)

式中： $V_{gy}$ ——离窑干烟气体积，m<sup>3</sup>/kg产品，计算方法详见附录C；

$c_{gyq}$ ——干烟气的比热容，kJ/(m<sup>3</sup>·℃)；

$$c_{gy} = 0.01 \sum (X_i \cdot c_i)$$

$t_{yq}$ ——离窑烟气的温度，℃。

5.2.4.2 烟气中水蒸气带走的显热 $Q_a$ , kJ/kg产品

$$Q_a = (m_a + m_w)(2490 + 1.93t_{yq}) + 1.93m_q \cdot t_{yq}$$

..... (5-19)

式中： $m_a$ ——燃料燃烧时生成水的质量，kg/kg产品，计算方法详见附录C；

2490——在0℃时，每千克自由水蒸发所需热量，kJ/kg；

1.93——水蒸气在0~250℃之间的平均比热容，kJ/(kg·℃)；

$m_q$ ——雾化蒸汽质量，kg/kg产品，见附录F表F8。

5.2.5 窑体表面散热损失 $Q_{bm}$ , kJ/kg产品

## 5.2.5.1 用热流计法计算

$$Q_{bm} = 3.6 \sum (q_i \cdot A_i) / m_{ps}$$

..... (5-20)

式中： $q_i$ ——窑体各个测区的平均热流密度，W/m<sup>2</sup>；

$A_i$ ——窑体各个测区的表面积，m<sup>2</sup>；

$m_{ps}$ ——产品小时质量，kg/h。

## 5.2.5.2 用传统公式计算

$$Q_{bm} = Q_{qm} + Q_{dm} \dots\dots\dots (5-21)$$

式中:  $Q_{qm}$ ,  $Q_{dm}$ ——分别表示窑墙和窑顶表面的散热损失, kJ/kg产品。

$$Q_{qm} = [\sum \alpha_{iq} \cdot (t_{qi} - t_o) \cdot A_{qi}] / m_{ps}$$

$$Q_{dm} = [\sum \alpha_{di} \cdot (t_{di} - t_o) \cdot A_{di}] / m_{ps}$$

式中:  $t_o$ ——周围空气的温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{qi}$ ,  $t_{di}$ ——分别表示窑墙、窑顶各个测区的表面平均温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$A_{qi}$ ,  $A_{di}$ ——分别表示窑墙、窑顶各个测区的表面积,  $\text{m}^2$ ;

$\alpha_{qi}$ ,  $\alpha_{di}$ ——分别表示第*i*个测区窑墙、窑顶对空气的综合传热系数, kJ/( $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$ )。

$$\alpha_{qi} = 9.20(t_{qi} - t_o)^{1/4} + 20.40\epsilon \{ [(t_{qi} + 273)/100]^4 - [(t_o + 273)/100]^4 \} / (t_{qi} - t_o)$$

$$\alpha_{di} = 11.70(t_{di} - t_o)^{1/4} + 20.40\epsilon \{ [(t_{di} + 273)/100]^4 - [(t_o + 273)/100]^4 \} / (t_{di} - t_o)$$

式中:  $\epsilon$ ——窑体外表面的黑度, 见附录F表F7。

#### 5.2.6 抽热风带走的显热 $Q_{rf}$ , kJ/kg产品

$$Q_{rf} = \sum (V_{rf} \cdot c_{rf} \cdot t_{rf}) \\ = V_p \cdot c_p \cdot t_p + V_z \cdot c_z \cdot t_z \dots\dots\dots (5-22)$$

式中:  $V_p$ ,  $V_z$ ——分别表示排铅热风和直接抽热风的热风量,  $\text{m}^3/\text{kg}$ 产品;

$c_p$ ,  $c_z$ ——分别表示排铅热风和直接抽热风的热空气比热容, kJ/( $\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ), 见附录F表F4;

$t_p$ ,  $t_z$ ——分别表示排铅热风和直接抽热风的热风出窑温度,  $^{\circ}\text{C}$ 。

#### 5.2.7 化学不完全燃烧热损失 $Q_{hb}$ , kJ/kg产品

$$Q_{hb} = 12600 \cdot X_{co} \cdot V_{gy} \dots\dots\dots (5-23)$$

式中: 12600——每立方标米一氧化碳的反应热, kJ/ $\text{m}^3$ ;

$X_{co}$ ——干烟气中一氧化碳的体积分数, %。

#### 5.2.8 机械不完全燃烧热损失 $Q_{jb}$ , kJ/kg产品

$$Q_{jb} = 33871 \cdot (m_{hz} - m_r \cdot W_h) \dots\dots\dots (5-24)$$

式中: 33871——每千克碳的反应热, kJ/kg;

$W_h$ ——煤中灰分的质量分数;

$m_{hz}$ ——灰渣的质量, kg/kg产品。实际称量或采用下式计算:

$$m_{hz} = m_r \cdot W_h / (1 - W_t)$$

式中:  $W_t$ ——灰渣的含碳率, %。

#### 5.2.9 灰渣带走的显热 $Q_{hz}$ , kJ/kg产品

$$Q_{hz} = m_{hz} \cdot c_{hz} \cdot t_{hz} \dots\dots\dots (5-25)$$

式中:  $c_{hz}$ ——灰渣的比热容, kJ/kg $\cdot^{\circ}\text{C}$ , 见附录F表F6;

$t_{hz}$ ——灰渣的平均温度,  $^{\circ}\text{C}$ 。

#### 5.2.10 炉口及其孔洞的辐射热损失 $Q_{kf}$ , kJ/kg产品

$$Q_{kf} = C_o \cdot \{ [(t_t + 273)/100]^4 - [(t_o + 273)/100]^4 \} \cdot A_o \cdot \Phi / m_{ps} \dots\dots\dots (5-26)$$

式中:  $C_0$ ——黑体辐射系数, 等于 $20.40 \text{ kJ}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ ;

$t_t$ ——炉膛内的平均温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$A_0$ ——孔口辐射面积;

$\Phi$ ——门孔系数, 取决于小孔的形状、尺寸和窑墙的厚度, 查图 2。

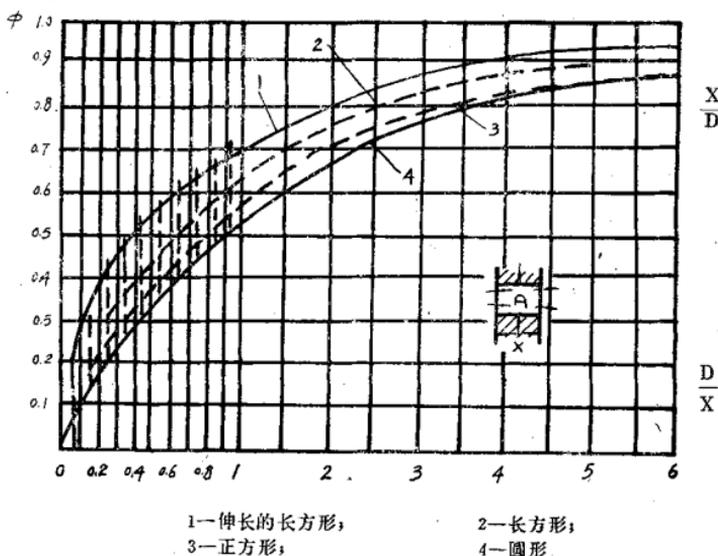


图 2 门孔系数计算图

### 5.2.11 测定点至窑体表面的管道散热损失 $Q_{gd}$ , $\text{kJ}/\text{kg}$ 产品

$$Q_{gd} = Q_{og} + Q_h \quad \dots\dots\dots (5-27)$$

式中:  $Q_{og}$ ,  $Q_h$ ——分别表示竖直管道和横管的表面散热损失,  $\text{kJ}/\text{kg}$  产品;

$$Q_{og} = [\sum \alpha_{oi} \cdot (t_{oi} - t_o) \cdot A_{oi}] / m_{ps}$$

$$Q_h = [\sum \alpha_{hi} \cdot (t_{hi} - t_o) \cdot A_{hi}] / m_{ps}$$

式中:  $t_{oi}$ ,  $t_{hi}$ ——分别表示各个竖管和横管的表面平均温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$A_{oi}$ ,  $A_{hi}$ ——分别表示各个竖管和横管的表面积,  $\text{m}^2$ ;

$\alpha_{oi}$ ,  $\alpha_{hi}$ ——分别表示各个竖管和横管的表面对空气的综合传热系数,  $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。

$$\alpha_{oi} = 9.20(t_{oi} - t_o)^{1/4} + 20.40\epsilon_g \cdot \left\{ \frac{[(t_{oi} + 273)/100]^4 - [(t_o + 273)/100]^4}{(t_{oi} - t_o)} \right\}$$

$$\alpha_{hi} = 33.9 + 20.40 \cdot (t_{hi} - t_o)^{1/4} + 20.40\epsilon_g \cdot \left\{ \frac{[(t_{hi} + 273)/100]^4 - [(t_o + 273)/100]^4}{(t_{hi} - t_o)} \right\}$$

式中:  $\epsilon_g$ ——管道外表面的黑度, 见附录 F 表 F7。

### 5.2.12 其他不可预计热损失 $Q_i$ , $\text{kJ}/\text{kg}$ 产品

$$Q_i = Q_{sr} - (Q_c + Q_{yc} + Q_{fc} + Q_{y_j} + Q_{bm} + Q_{rf} + Q_{hb} + Q_{jb} + Q_{hz} + Q_{kf} + Q_{gd}) \dots\dots\dots (5-28)$$

## 5.3 热平衡计算结果表见表2。

表2 热平衡表

kJ/kg产品

	热 收 入 $Q_{sr}$			热 支 出 $Q_{sc}$		
	项 目	数值	%	项 目	数值	%
1	燃料燃烧的化学热 $Q_c$			产品带出的显热 $Q_c$		
2	电热体发出的热量 $Q_{dt}$			窑具带出的显热 $Q_{yc}$		
3	燃料带入的显热 $Q_{fc}$			辅助材料带出的显热 $Q_{fc}$		
4	助燃空气带入的显热 $Q_{ak}$			离窑烟气带走的显热 $Q_{yq}$		
5	雾化蒸汽带入的显热 $Q_q$			窑体表面散热损失 $Q_{bm}$		
6	漏入空气带入的显热 $Q_{lk}$			抽热风带走的显热 $Q_{rf}$		
7	冷却空气带入的显热 $Q_l$			化学不完全燃烧热损失 $Q_{hb}$		
8	半成品带入的显热 $Q_b$			机械不完全燃烧热损失 $Q_{jb}$		
9	窑具带入的显热 $Q_y$			灰渣带走显热 $Q_{ha}$		
10	辅助材料带入的显热 $Q_f$			炉口及其孔洞辐射的热损失 $Q_{xf}$		
11	重油乳化掺水带入的显热 $Q_{rh}$			测点至窑表面管道散热损失 $Q_{gd}$		
12				其他不可预计热损失 $Q_i$		
13	合 计					

## 6 热效率计算方法

## 6.1 有效热

6.1.1 半成品彩烤至最高彩烤温度时净耗热 $Q_{ck}$ , kJ/kg产品

$$Q_{ck} = m_o \cdot (c_{ck} \cdot t_{ck} - c_o \cdot t_o) \dots\dots\dots (6-1)$$

式中:  $t_{ck}$ ——最高彩烤温度, °C; $c_{ck}$ ——最高彩烤温度时产品的比热容, kJ/(kg·°C), 见附录F表F2。6.1.2 有效热 $Q_{yx}$ , kJ/kg产品

$$Q_{yx} = Q_{ck} \dots\dots\dots (6-2)$$

6.1.3 含窑具材料的有效热 $Q'_{yx}$ , kJ/kg产品

$$Q'_{yx} = Q_{yx} + Q_{y_j} \dots\dots\dots (6-3)$$

式中:  $Q_{y_j}$ ——窑具及辅助材料加热至最高彩烤温度时净耗热, kJ/kg产品。

$$Q_{y_j} = m_y(c_{yg} \cdot t_{ck} - c_y \cdot t_y) + m_f \cdot (c_{fg} \cdot t_{ck} - c_f \cdot t_f)$$

式中:  $c_{yg}$ ,  $c_{fg}$ ——分别表示最高彩烤温度下, 窑具及辅助材料的平均比热容,

$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ ，见附录F表F2。

### 6.2 供给热 $Q_{gj}$ ， $\text{kJ}/\text{kg}$ 产品

$$Q_{gj} = Q_r \text{ 或 } Q_{gj} = Q_{d1} \dots\dots\dots (6-4)$$

式中： $Q_r$ 和 $Q_{d1}$ 的计算方法见式(5-1)和(5-2)。

### 6.3 彩烤制品的窑炉热效率 $\eta_c$ ，%

$$\eta_c = (Q_{yx} / Q_{gj}) \cdot 100 \dots\dots\dots (6-5)$$

### 6.4 含窑具材料的窑炉热效率 $\eta_x$ ，%

$$\eta_x = (Q'_{yx} / Q_{gj}) \cdot 100 \dots\dots\dots (6-6)$$

### 6.5 余热资源率 $\eta_r$ ，%

$$\eta_r = [(Q_{rf} + Q_y) / Q_{gj}] \cdot 100 \dots\dots\dots (6-7)$$

注：本标准供给能量是指由能源供给的能量，不包括由工质或物料带入的能量，以便直接考察能源利用的程度。

### 6.6 单位产品彩烤能耗 $Q_d$ ， $\text{kJ}/\text{kg}$ 产品

$$Q_d = Q_{gj} \dots\dots\dots (6-8)$$

### 6.7 热效率综合计算表见表3

表3 辊道窑热效率综合计算表

项 目	单 位	数 据
半成品彩烤至最高彩烤温度时净耗热 $Q_{ck}$	$\text{kJ}/\text{kg}$ 产品	
有效热 $Q_{yx}$		
含窑具材料的有效热 $Q'_{yx}$		
供给热 $Q_{gj}$		
抽热风带走显热 $Q_{rf}$		
烟气带走的显热 $Q_{yq}$	%	
彩烤制品的窑炉热效率 $\eta_c$		
含窑具材料的窑炉热效率 $\eta_x$		
余热资源率 $\eta_r$		
单位产品彩烤能耗 $Q_d$	$\text{kJ}/\text{kg}$ 产品	

## 附录 A

## 符号及角标说明

(补充件)

表 A1

序号	符号	说明	单位
1	$A_{di}$	窑顶各个测区的表面积	m <sup>2</sup>
2	$A_{gd}$	各个测点至窑体表面的管道表面积	
3	$A_{hi}$	测点至窑体表面各个横管的表面积	
4	$A_i$	窑体各个测区的表面积	
5	$A_k$	助燃空气管道入口截面积	
6	$A_l$	冷却空气的管道截面积	
7	$A_o$	孔口辐射面积	
8	$A_p$	排铅热风管道截面积	
9	$A_{qi}$	窑墙各个测区的表面积	
10	$A_r$	抽出热风管道截面积	
11	$A_{si}$	测点至窑体表面各个竖管的表面积	
12	$A_w$	雾化空气的管道截面积	
13	$A_y$	烟气的烟道截面积	
14	$c_b$	半成品的比热容	kJ/(m <sup>3</sup> ·℃) 或 kJ/(kg·℃)
15	$c_o$	产品的比热容	
16	$c_{ok}$	最高彩烤温度时产品的比热容	
17	$c_f$	辅助材料入窑时的比热容	
18	$c_{fc}$	辅助材料出窑时的比热容	
19	$c_{fg}$	最高彩烤温度时辅助材料的平均比热容	
20	$c_{gT}$	离窑干烟气的比热容	
21	$c_{hs}$	灰渣的比热容	
22	$c_i$	各种气体成分的平均比热容	
23	$c_k$	助燃空气的比热容	
24	$c_l$	冷却空气的比热容	
25	$c_{lk}$	漏入空气的比热容	
26	$c_p$	排铅热风的比热容	
27	$c_q$	雾化蒸汽的比热容	
28	$c_r$	燃料的比热容	
29	$c_{rf}$	抽出热风的平均比热容	
30	$c_{wk}$	雾化空气的比热容	
31	$c_y$	窑具入窑时的比热容	
32	$c_{yo}$	窑具出窑时的比热容	
33	$c_{yg}$	最高彩烤温度时窑具的平均比热容	
34	$c_z$	直接抽出热风的比热容	

续表 A1

序号	符号	说明	单位
35	$C_o$	黑体辐射系数	$\text{kJ}/(\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}^4)$
36	$m_b$	半成品入窑的质量	$\text{kg}/\text{kg}$ 产品
37	$m_c$	产品出窑的质量 (以1kg产品计)	$\text{kg}$
38	$m_f$	辅助材料的质量	$\text{kg}/\text{kg}$ 产品
39	$m_{bz}$	灰渣的质量	
40	$m_{ps}$	产品小时质量	$\text{kg}/\text{h}$
41	$m_q$	雾化蒸汽的质量	$\text{kg}/\text{kg}$ 产品
42	$m_r$	燃料的消耗量	
43	$m_s$	燃料燃烧时生成水的质量	
44	$m_w$	重油乳化掺水量	
45	$m_y$	窑具的质量	
46	$P$	电热体的平均电功率	$\text{kW}/\text{kg}$ 产品
47	$p_d$	周围环境的大气压	
48	$p_{kd}$	助燃空气的动压	
49	$p_{kj}$	助燃空气的静压	
50	$p_{ld}$	冷却空气的动压	
51	$p_{lj}$	冷却空气的静压	
52	$p_{pd}$	排铅热风的动压	$\text{Pa}$
53	$p_{pj}$	排铅热风的静压	
54	$p_{rd}$	抽出热风的动压	
55	$p_{rj}$	抽出热风的静压	
56	$p_{wd}$	雾化空气的动压	
57	$p_{wj}$	雾化空气的静压	
58	$p_{yd}$	烟气的动压	
59	$p_{yj}$	烟气的静压	
60	$q_{di}$	窑顶表面各个测区的平均热流密度	
61	$q_i$	窑体表面各个测区的平均热流密度	$\text{W}/\text{m}^2$
62	$q_{qi}$	窑墙表面各个测区的平均热流密度	
63	$Q_b$	半成品带入的显热	
64	$Q_{bm}$	窑体表面散热损失	
65	$Q_c$	产品带出的显热	
66	$Q_{ck}$	半成品彩烤至最高温度时静耗热	$\text{kJ}/\text{kg}$ 产品
67	$Q_d$	单位产品彩烧能耗	
68	$Q_{d1}$	电热体发出的热量	
69	$Q_{dm}$	窑顶表面散热损失	
70	$Q'_{dw}$	燃料的低位发热量	$\text{kJ}/(\text{kg}$ 或 $\text{m}^3$ 燃料)

续表 A1

序号	符号	说 明	单 位	
71	$Q_i$	辅助材料带入的显热	kJ/kg产品	
72	$Q_{fo}$	辅助材料带出的显热		
73	$Q_{gd}$	管道表面散热损失		
74	$Q_{gj}$	供给热		
75	$Q_{gy}$	离窑干烟气带走的显热		
76	$Q_h$	横管的表面散热损失		
77	$Q_{hb}$	化学不完全燃烧热损失		
78	$Q_{hs}$	灰渣带走的显热		
79	$Q_{jb}$	机械不完全燃烧热损失		
80	$Q_k$	助燃空气带入的显热		
81	$Q_{kf}$	炉口及其孔洞的热损失		
82	$Q_l$	冷却空气带入的显热		
83	$Q_{lk}$	漏入空气带入的显热		
84	$Q_q$	雾化蒸汽带入的显热		
85	$Q_{qm}$	窑墙表面散热损失		
86	$Q_z$	燃料燃烧的化学热		
87	$Q_{zf}$	抽热风带走的显热		
88	$Q_{zh}$	重油乳化掺水带入的显热		
89	$Q_s$	烟气中水蒸气带走的热		
90	$Q_{sg}$	垂直管道的表面散热损失		
91	$Q_{sr}$	总热收入		
92	$Q_t$	其他不可预计热损失		
93	$Q_{wk}$	雾化空气带入的显热		
94	$Q_x$	燃料带入的显热		
95	$Q_y$	窑具带入的显热		
96	$Q_{yc}$	窑具带出的显热		
97	$Q_{yj}$	窑具加热至最高彩烤温度时静耗热		
98	$Q_{yq}$	离窑烟气带走的显热		
99	$Q_{yx}$	彩烤产品的有效热		
100	$Q'_{yx}$	含窑具材料的有效热		
101	$Q_{zc}$	总热支出		
102	$t_b$	半成品入窑的温度		℃
103	$t_o$	产品出窑的温度		
104	$t_{ok}$	最高彩烤温度		
105	$t_{di}$	窑顶各个测区的表面平均温度		
106	$t_f$	辅助材料入窑的温度		
107	$t_{fo}$	辅助材料出窑的温度		
108	$t_{hi}$	各个横管的表面平均温度		
109	$t_{hs}$	灰渣的平均温度		
110	$t_i$	各个测点至窑体表面的管道表面平均温度		

QB/T 2130—95

续表 A1

序号	符号	说 明	单 位
111	$t_k$	助燃空气的温度	℃
112	$t_l$	冷却空气入窑的温度	
113	$t_{lk}$	漏入空气的温度	
114	$t_o$	周围空气的温度	
115	$t_p$	排铅热风的温度	
116	$t_q$	雾化蒸汽的温度	
117	$t_{qi}$	窑墙各个测区的表面平均温度	
118	$t_r$	燃料入窑的温度	
119	$t_{rf}$	抽出热风的温度	
120	$t_{rh}$	重油乳化水的温度	
121	$t_{si}$	各个竖直管道的表面平均温度	
122	$t_t$	炉膛内的温度	
123	$t_{wg}$	窑外辊道温度	
124	$t_{wk}$	雾化空气入窑的温度	
125	$t_y$	窑具的入窑温度	
126	$t_{yc}$	窑具的出窑温度	
127	$t_{yq}$	离窑烟气的温度	
128	$t_z$	直接抽出热风的温度	
129	$V_{gy}$	离窑干烟气量	m <sup>3</sup> /kg产品
130	$V_k$	助燃空气量	
131	$V_k^0$	理论空气量	m <sup>3</sup> /(kg或m <sup>3</sup> 燃料)
132	$V_l$	冷却空气量	m <sup>3</sup> /kg产品
133	$V_{lk}$	漏入空气量	
134	$V_p$	排铅热风风量	
135	$V_q$	雾化蒸汽量	
136	$V_{rf}$	直接抽出的热风风量	
137	$V_{wk}$	雾化空气量	
138	$V_y^0$	理论烟气量	
139	$V_z$	直接抽出的热风风量	m <sup>3</sup> /kg产品
140	$W_h$	煤中灰分分数	%
141	$W_r$	燃料的含水率	
142	$W_i$	灰渣中的含碳率	
143	$X_{co}$	干烟气中一氧化碳的体积分数	
144	$X_i$	各种气体成分在烟气中的体积分数	
145	$\omega_k$	助燃空气的流速	m/s
146	$\omega_l$	冷却空气的流速	
147	$\omega_p$	排铅热风的流速	

续表 A1

序号	符号	说明	单位
148	$\omega_r$	抽出热风的流速	m/s
149	$\omega_w$	雾化空气的流速	
150	$\omega_y$	烟气的流速	
151	$a_{di}$	各个测区窗顶对空气的综合传热系数	kJ/(m <sup>2</sup> ·h·℃)
152	$a_{hi}$	各个横管表面对空气的综合传热系数	
153	$a_{qi}$	各个测区窗墙对空气的综合传热系数	
154	$a_{si}$	各个竖直管道表面对空气的综合传热系数	
155	$a_k$	彩烤带的平均空气过剩系数	—
156	$a_y$	抽出烟气中空气过剩系数	
157	$\eta_o$	彩烧制品的窑炉热效率	%
158	$\eta_r$	余热资源率	
159	$\eta_x$	含窑具材料的窑炉热效率	
160	$\tau$	电热体的通电时间	h
161	$\phi$	门孔系数	
162	$e$	窑体外表面的黑度	
163	$e_g$	管道外表面的黑度	
164	$\psi$	空气的相对湿度	%
165	$\mu$	铅、镉溶出量	ppm

注：使用符号原则说明如下：

- ① 本标准使用的符号，以国际上通用的符号为主，并参照国内惯用符号制定。如气体体积用“V”，热量用“Q”，比热容用“c”等。
- ② 符号的角标按汉语拼音头一个字母书写，如两个以上不同的汉字，其拼音中头一个字母相同时，则角标用两个字母，以示区别。
- ③ 角标写在符号的右下角，比主题符号小一号字体书写，书写时均用小正体。
- ④ 如果用下角标不能概括原意时，可以在右上角使用上角标符号。
- ⑤ 角标应尽可能少用，以使符号简化。
- ⑥ 单位中的符号“m<sup>3</sup>”表示标准立方米。

## 附录 B

## 记录、测定事项一览表

(补充件)

B1 辊道窑基本情况一览表

厂名		窑炉类型			
厂址		燃料种类			
项 目		单 位	数 值	备 注	
产 品	品 种				
	规 格				
	产 量	kg/h			
窑 的 基 本 结 构 及 特 点	窑 体	全 长	m		
		预热带(长×宽×高)			
		彩烤带(长×宽×高)			
		冷却带(长×宽×高)			
		窑的有效截面积	m <sup>2</sup>		
	彩烤周期	h			
	辊 子	材 质	m		
		长 度			
		内 径			
		外 径			
	辊子中心距				
燃 烧 室	数 量	个			
	容 量	m <sup>3</sup>			
	布 置 形 式				
喷 嘴	数 量	个			
	型 号				
	特 性				
通 风 方 式	风机的型号				
	风机的容量	m <sup>3</sup> /h			
	烟囱的大小(内径×高)	m			
	共同设备的名称及台数				
传 动 设 备	种 类				
	功 率	kW			
电热体的数量及布置形式					
辊道窑的结构现状及历史					
窑内断面温差情况及产品彩烤质量情况					

B2 热平衡实测数据综合表

测定时间		起	年	月	日	时	止	年	月	日	时
测定项目								单 位	数 据		
外界条件	天 气								—		
	大 气 压 强								Pa		
	环 境 温 度	干球温度							℃		
		湿球温度									
燃 料	特 性	含水率 $W$ ,							%		
		比重 $d_{4}^{20}$							—		
	组 成	液体燃料							—		
		气体燃料									
		固体燃料									
应用基时燃料的低位发热量 $Q_{L,ar}$								kJ/kg 燃料或 kJ/m <sup>3</sup> 燃料			
燃料的消耗量 $m$ ,								kg/kg 产品或 m <sup>3</sup> /kg 产品			
燃料入窑的温度 $t_r$								℃			
电热体的平均功率 $P$								kW/kg 产品			
电热体的通电时间 $\tau$								h			
燃 烧 用 空 气	烧成带的平均空气过剩系数 $a_r$								—		
	理论空气量 $V_{th}$								m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> 燃料 m <sup>3</sup> /kg 燃料		
	雾化空气的管道截面积 $A_w$								m <sup>2</sup>		
	动压 $p_{wd}$								Pa		
	流速 $\omega_w$								m/s		
	雾化空气入窑的温度 $t_{wk}$								℃		
	雾化空气量 $V_{wk}$								m <sup>3</sup> /kg 产品		
	助燃空气入窑的温度 $t_k$								℃		
	雾化蒸汽的温度 $t_s$								℃		
雾化蒸汽量 $V_s$								m <sup>3</sup> /kg 产品			
漏入 空气	漏入空气量 $V_{lk}$								m <sup>3</sup> /kg 产品		
	漏入空气的温度 $t_{lk}$								℃		

续表B2 热平衡实测数据综合表

测 定 项 目		单 位	数 据		
排 铅 热 气	排铅热风的管道截面积 $A_p$		$m^2$		
	动 压 $P_{pd}$		Pa		
	流 速 $\omega_p$		m/s		
	风 量 $V_p$		$m^3/kg$ 产品		
	温 度 $t_p$		$^{\circ}C$		
冷 却 空 气	冷却空气的管道截面积 $A_l$		$m^2$		
	动 压 $P_{ld}$		Pa		
	流 速 $\omega_l$		m/s		
	冷却空气量 $V_l$		$m^3/kg$ 产品		
	温 度 $t_l$		$^{\circ}C$		
抽 出 热 气	抽出热风的管道截面积 $A_r$		$m^2$		
	动 压 $P_{rd}$		Pa		
	流 速 $\omega_r$		m/s		
	热风风量 $V_{rt}$		$m^3/kg$ 产品		
	温 度 $t_{rt}$		$^{\circ}C$		
灰 渣	灰渣的质量 $m_h$		$kg/kg$ 产品		
	平均温度 $t_{hs}$		$^{\circ}C$		
	煤中灰分分数 $W_b$		%		
	灰渣中的含碳率 $W_c$		%		
产 品	产品最高彩烤温度 $t_{ck}$		$^{\circ}C$		
	半成品的入窑温度 $t_b$				
	产品出窑温度 $t_c$				
窑 具 及 辅 助 材 料	质 量	窑 具 $m_y$		$kg/kg$ 产品	
		辅助材料 $m_t$			
	温 度	入 窑 处	窑 具 $t_y$		$^{\circ}C$
			辅助材料 $t_t$		
		出 窑 处	窑 具 $t_{yc}$		
			辅助材料 $t_{tc}$		

续表B2 热平衡实测数据综合表

测 定 项 目		单 位	数 据
烟	汇总 烟道 处烟 气的 组成	CO <sub>2</sub>	
		O <sub>2</sub>	
		CO	%
		N <sub>2</sub>	
		排出烟气中空气过剩系数 $\alpha_y$	—
气	烟管道或烟道的截面积 $A_y$	m <sup>2</sup>	
	动 压 $p_{yd}$	Pa	
	流 速 $\omega_y$	m/s	
	理论烟气体积 $V_y^0$	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> 燃料 m <sup>3</sup> /kg燃料	
	离窑于烟气体积 $V_{gy}$	m <sup>3</sup> /kg产品	
	温 度 $t_{yq}$	℃	
窑 墙	测定区域段	—	
	各个测区的表面积 $A_{qi}$	m <sup>2</sup>	
	各个测区的表面平均温度 $t_{qi}$	℃	
窑 顶	测定区域段	—	
	各个测区的表面积 $A_{di}$	m <sup>2</sup>	
	各个测区的表面平均温度 $t_{di}$	℃	
测定区域段		—	
窑体各个测区的表面积 $A_i$		m <sup>2</sup>	
窑体各个测区的平均热流密度 $q_i$		W/m <sup>2</sup>	
孔口辐射面积 $A_o$		m <sup>2</sup>	
孔口尺寸与窑墙厚度比		—	
炉膛内的温度 $t_i$		℃	
管	横 管	横管数量	段
		各段横管的表面积 $A_{hi}$	m <sup>2</sup>
		各段横管的表面平均温度 $t_{hi}$	℃
道 管	竖 管	竖管数量	段
		各段竖管表面积 $A_{vi}$	m <sup>2</sup>
		各段竖管的表面平均温度 $t_{vi}$	℃

## 附录 C

## 理论空气量与理论烟气体量及燃料燃烧生成水质量计算

(补充件)

## C1 燃料燃烧理论空气量与理论烟气体量的近似计算

C1.1 燃料燃烧理论空气量 $V^{\circ}_k$ 与理论烟气体量 $V^{\circ}_y$ 的近似计算

$$\text{固体燃料 } V^{\circ}_k = (0.241Q_{DW}/1000) + 0.5 (\text{m}^3/\text{kg燃料}) \dots\dots\dots (\text{C}-1)$$

$$V^{\circ}_y = (0.213Q_{DW}/1000) + 1.65 (\text{m}^3/\text{kg燃料}) \dots\dots\dots (\text{C}-2)$$

$$\text{液体燃料 } V^{\circ}_k = (0.203Q_{DW}/1000) + 2 (\text{m}^3/\text{kg燃料}) \dots\dots\dots (\text{C}-3)$$

$$V^{\circ}_y = 0.265Q_{DW}/1000 (\text{m}^3/\text{kg燃料}) \dots\dots\dots (\text{C}-4)$$

气体燃料当 $Q_{DW} < 12500 \text{kJ/m}^3$ 燃料时

$$V^{\circ}_k = (0.209Q_{DW}/1000) (\text{m}^3/\text{m}^3\text{燃料}) \dots\dots\dots (\text{C}-5)$$

$$V^{\circ}_y = (0.173Q_{DW}/1000) + 1 (\text{m}^3/\text{m}^3\text{燃料}) \dots\dots\dots (\text{C}-6)$$

当 $Q_{DW} > 12500 \text{kJ/m}^3$ 燃料时

$$V^{\circ}_k = (0.26Q_{DW}/1000) - 0.25 (\text{m}^3/\text{m}^3\text{燃料}) \dots\dots\dots (\text{C}-7)$$

$$V^{\circ}_y = (0.272Q_{DW}/1000) + 0.25 (\text{m}^3/\text{m}^3\text{燃料}) \dots\dots\dots (\text{C}-8)$$

## C2 每千克或每标准立方米燃料燃烧生成的水质量计算

对于固体、液体燃料,  $\text{kg/kg燃料}$ 

$$m = (W + 9H)/100 \dots\dots\dots (\text{C}-9)$$

式中:  $W$ ——燃料中含水率, %; $H$ ——燃料中氢的质量分数, %。对于气体燃料,  $\text{kg/m}^3$ 燃料

$$m = \frac{18}{22.4} [H_2 + 2CH_4 + (n/2)C_mH_n + H_2S + H_2O] \dots\dots\dots (\text{C}-10)$$

式中:  $H_2$ 、 $CH_4$ 、 $C_mH_n$ 、 $H_2S$ 、 $H_2O$ ——分别表示燃料中各相应成分体积分数, %。

注: 固体、液体、气体燃料的成分可查有关资料或手册。

## C3 每千克或每标准立方米燃料燃烧生成干烟气体量计算

对固体、液体燃料

$$V'_y = V_s - \frac{22.4}{18}(W + 9H) \frac{1}{100} \dots\dots\dots (\text{C}-11)$$

式中:  $V_s$ ——实际生成烟气体量,  $\text{m}^3/\text{kg燃料}$ 。

$$V_s = V^{\circ}_y + (\alpha_y - 1)V^{\circ}_k$$

式中:  $\alpha_y$ ——排出烟气体中空气过剩系数。

对于气体燃料

$$V'_y = V_s - [H_2 + 2CH_4 + (n/2)C_mH_n + H_2S + H_2O] \frac{1}{100} \dots\dots\dots (\text{C}-12)$$

## 附录 D

## 燃料低位发热量的计算

(补充件)

## D1 液体燃料

## D1.1 已知燃料的元素分析时

$$Q_{Dw}^y = 339C^y + 1030H^y - 109(O^y - S^y) - 25W^y \dots \dots \dots (D-1)$$

式中:  $C^y$ 、 $H^y$ 、 $O^y$ 、 $S^y$ 、 $W^y$ ——分别表示应用基时燃料中碳、氢、氧、硫及水的分数。

## D1.2 已知重油的密度时, 可查表D1得到重油的低位发热量。

表D1 重油密度和低位发热量的关系

密度 $d_{15}^{15}$	低位发热量 $Q_{Dw}^y$ (kJ/kg燃料)	密度 $d_{15}^{15}$	低位发热量 $Q_{Dw}^y$ (kJ/kg燃料)
1.0760	39599.8	0.9593	41314.2
1.0679	39725.2	0.9529	41397.8
1.0599	39850.6	0.9465	41481.5
1.0520	39976.1	0.9402	41565.1
1.0443	40101.5	0.9340	41648.7
1.0336	40227.0	0.9274	41732.4
1.0291	40352.4	0.9218	41816.0
1.0217	40436.1	0.9159	41899.6
1.0143	40519.7	0.9100	41983.3
1.0071	40645.2	0.9042	42025.1
1.0000	40728.8	0.8934	42108.7
0.9930	40854.2	0.8727	42192.3
0.9861	40937.9	0.8871	42276.0
0.9792	41021.5	0.8816	42317.8
0.9725	41146.9	0.8762	42401.4
0.9659	41230.6		

注:  $d_{15}^{15}$ 为15℃时重油的密度与15℃时水的密度之比。

D1.3 除根据燃料的组成计算外, 还可以采用量热计法测定燃料的低位发热量。此方法比较精确, 可参照GB 384。

## D2 固体燃料

## D2.1 已知煤的元素分析时

D2.1.1 无烟煤 ( $V^r \leq 10\%$ )

$$Q_{GW}^r = 335(327)C^r + 1300(1260)H^r + 63S^r + 105O^r - 21(A^s - 10) \dots \dots (D-2)$$

式中： $Q_{GW}^r$ ——可燃基时燃料的高位发热量，kJ/kg燃料；  
 $C^r$ 、 $H^r$ 、 $O^r$ 、 $S^r$ ——分别表示可燃基时燃料中碳、氢、氧、硫的分数；  
 $A^s$ ——干燥基时燃料中灰分的分数。

注：(1)系数的选用说明

a.  $C^r$ 系数的选用

$C^r \geq 95\%$ 、 $H^r \leq 1.5\%$ 时， $C^r$ 前系数用括弧中的327；

$C^r < 95\%$ 、 $H^r > 1.5\%$ 时， $C^r$ 前系数用括弧外的335。

b.  $H^r$ 系数的选用

$C^r \leq 77\%$ 时， $H^r$ 前系数用括弧中的1260；

$C^r > 77\%$ 时， $H^r$ 前系数用括弧外的1300。

(2)当 $A^s \leq 10\%$ 时，公式中的最后一项“-21( $A^s - 10$ )”可不计算。

D2.1.2 烟煤 ( $V^r > 20\%$ )

$$Q_{GW}^r = 335C^r + 1300H^r + 92S^r - 109O^r - 17(A^s - 10) \dots \dots (D-3)$$

注：当 $A^s \leq 10\%$ 时，公式中的最后一项“-17( $A^s - 10$ )”可不计算。

D2.1.3 褐煤 ( $V^r > 37\%$ )

$$Q_{GW}^r = 335C^r + 1280H^r + 92S^r - 109O^r - 25(A^s - 10) \dots \dots (D-4)$$

注：当 $A^s \leq 10\%$ 时，公式中的最后一项“-25( $A^s - 10$ )”可不计算。

## D2.1.4 由可燃基高位发热量换算为应用基高位发热量，其换算系数见表D2。

$$Q_{GW}^y = Q_{GW}^r \times [100 - (W^y + A^y)] / 100 \dots \dots (D-5)$$

式中： $Q_{GW}^y$ ——应用基时燃料的高位发热量，kJ/kg燃料；  
 $W^y$ 、 $A^y$ ——分别表示应用基时燃料中水分、灰分的分数。

## D2.1.5 由应用基高位发热量换算为应用基低位发热量，其换算公式为：

$$Q_{DW}^y = Q_{GW}^y - 225H^y - 25W^y \dots \dots (D-6)$$

式中： $H^y$ ——应用基时燃料中氢的分数。

不同基准时燃料组成的换算系数见表D2。

## D2.2 已知煤的工业分析时

## D2.2.1 无烟煤

$$Q_{DW}^f = K_0 - 360W^f - 385A^f - 100V^f \dots \dots (D-7)$$

式中： $Q_{DW}^f$ ——分析基时燃料的低位发热量，kJ/kg燃料；  
 $W^f$ 、 $A^f$ 、 $V^f$ ——分别表示分析基时燃料中水分、灰分及挥发分的分数；  
 $K_0$ ——系数，根据 $V^f$ 值从表D3中查出， $V^f$ 与 $V^r$ 的换算按照表D2的关系式计算。

表D2 燃料组成的换算系数<sup>1)</sup>

已知的“基”	所要换算的基			
	应用基	分析基	干燥基	可燃基
应用基	1	$\frac{100 - W^f}{100 - W^f}$	$\frac{100}{100 - W^f}$	$\frac{100}{100 - (W^f + A^f)}$
分析基	$\frac{100 - W^f}{100 - W^f}$	1	$\frac{100}{100 - W^f}$	$\frac{100}{100 - (W^f + A^f)}$
干燥基	$\frac{100 - W^f}{100}$	$\frac{100 - W^f}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A^f}$
可燃基	$\frac{100 - (W^f + A^f)}{100}$	$\frac{100 - (W^f + A^f)}{100}$	$\frac{100 - A^f}{100}$	1

注：1) 适用于除水分以外的各种成分及高位发热量的换算。

表D3  $K_1$ 与 $V^f$ 的关系

$V^f, \%$	$\leq 2.5$	$> 2.5 \sim 5.0$	$> 5.0 \sim 7.5$	$> 7.5 \sim 10$
$K_1$	34300	34800	35200	35600

D2.2.2 烟煤

$$Q_{DW}^f = 100K_1 - (K_1 + 25.12)(W^f + A^f) - 12.56V^f - 167.5W^{(2)} \dots \dots (D-8)$$

式中： $K_1$ ——系数，随 $V^f$ 及焦渣特征而变化，可从表D4中查出。 $V^f$ 与 $V^f$ 的换算按照表D2的关系式计算。

注：2) 只在 $V^f < 35\%$ ， $W^f > 3\%$ 减去此项。

表D4  $K_1$ 与 $V^f$ 及焦渣特征的关系

$K_1$	$V^f, \%$									
	10~13.5	>13.5~17	>17~20	>20~23	>23~29	>29~32	>32~35	>35~38	>38~42	>42
焦渣特征										
1	352	337	335	329	320	320	306	306	306	304
2	352	350	343	339	329	327	325	320	316	312
3	354	354	350	345	339	335	331	329	327	320
4	354	356	352	348	343	339	335	333	331	325
5~6	354	356	356	352	350	345	341	339	335	333
7	354	356	356	356	354	352	348	345	343	339
8	354	356	356	358	356	354	350	348	345	343

注：焦渣特征——测定挥发分时所残留的焦渣外形特征，分八类：1.粉态；2.粘着；3.弱粘着；4.不熔融粘着；5.不膨胀熔融粘着；6.微膨胀熔融粘着；7.膨胀熔融粘着；8.强膨胀熔融粘着。

## D2.2.3 褐煤

$$Q_{DW}^f = 100K_2 - (K_2 + 25.12)(W^f + A^f) - V^f \dots \dots \dots (D-9)$$

式中： $K_2$ ——系数，根据 $V^r$ 值从表D5中查出。 $V^r$ 与 $V^f$ 换算按表D2的关系式计算。

表D5 我国褐煤的 $V^r$ 和 $K_2$ 对应表

$V^r, \%$	>38~45	>45~49	>49~56	>56~62	>62
$K_2$	287	281	272	264	258

## D2.2.4 由分析基低位发热量换算为应用基低位发热量，其换算公式为：

$$Q_{DW}^y = Q_{DW}^f \times (100 - W^y) / (100 - W^f) - 25.12[W^y - W^f \times (100 - W^y) / (100 - W^f)] \dots \dots \dots (D-10)$$

## D3 气体燃料

已知各可燃组成的分数时：

$$Q_{DW} = 126CO + 108H_2 + 358CH_4 + 590C_2H_4 + 637C_2H_6 + 806C_3H_8 + 912C_3H_8 + 1187C_4H_{10} + 1460C_5H_{12} + 232H_2S \dots \dots \dots (D-11)$$

式中： $Q_{DW}$ ——气体燃料的低位发热量，kJ/m<sup>3</sup>燃料；

CO、H<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>、C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>、C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>、H<sub>2</sub>S——气体燃料中各可燃组成成分数。

## 附录 E

## 测定气体流量时测点的选择与计算方法

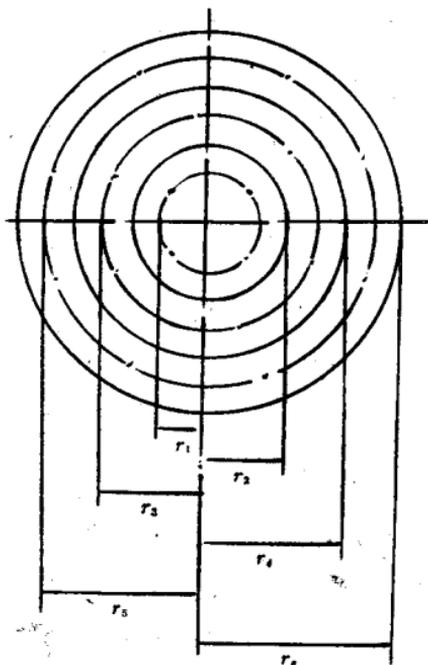
(参考件)

## E1 测点的选择

## E1.1 圆形截面的管道

圆形管道中流量的测量方法采用等面积同心圆环方法，即将内径为 $D$ 的圆管分成若干个面积相等的同心圆环，如图E1所示。再把每个圆环用同心圆等分为二，然后在等分圆与两根互相垂直的中心线的交点（每个圆上有四点）上测流速，取平均值。

从管中心到各测点的距离可用下式计算：



图E1 圆形截面测点分布图

$$r_{2n-1} = D/2 \times \sqrt{(2n-1)/2N} \dots\dots\dots (E-1)$$

- 式中： $D$  ——管道内径，mm；  
 $n$  ——从管中心算起的等面积同心圆环的序号；  
 $N$  ——等面积圆环数；  
 $r$  ——测定点到管中心的距离，mm。

等面积圆环数与管道直径有关，一般可按表E1确定。

表E1. 圆环数及测点数的选择

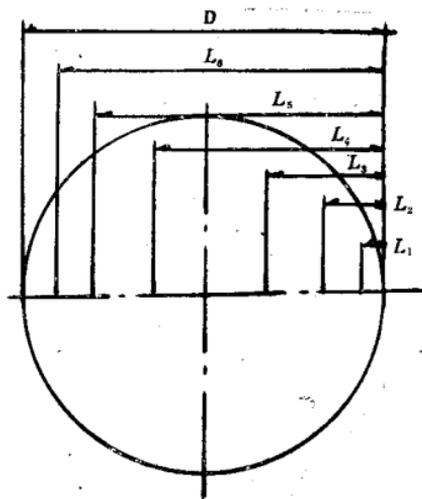
管道直径 $D$ , mm	300	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
等面积圆环数 $N$	3	4	5	6	7	8	9	10	11
测点总数	6	8	20	24	28	32	36	40	44

测点的计算很麻烦，为了使用方便起见，将已计算好的测点离管壁的距离（以半径的百分比为单位）列入表E2中，使用时将表E2中数乘以管道半径，即为管壁至测点的距离。

表E2 测点位置计算表

测点编号	圆 环 数 $N$						
	1	2	3	4	5	6	7
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1	0.293	0.134	0.086	0.064	0.051	0.043	0.036
2	1.707	0.500	0.293	0.210	0.164	0.134	0.114
3	—	1.500	0.591	0.388	0.293	0.236	0.198
4	—	1.866	1.409	0.646	0.457	0.354	0.293
5	—	—	1.707	1.354	0.684	0.500	0.402
6	—	—	1.914	1.612	1.316	0.710	0.537
7	—	—	—	1.790	1.543	1.290	0.733
8	—	—	—	1.936	1.707	1.500	1.267
9	—	—	—	—	1.836	1.646	1.463
10	—	—	—	—	1.949	1.764	1.598
11	—	—	—	—	—	1.866	1.642
12	—	—	—	—	—	1.957	1.707
13	—	—	—	—	—	—	1.886
14	—	—	—	—	—	—	1.964

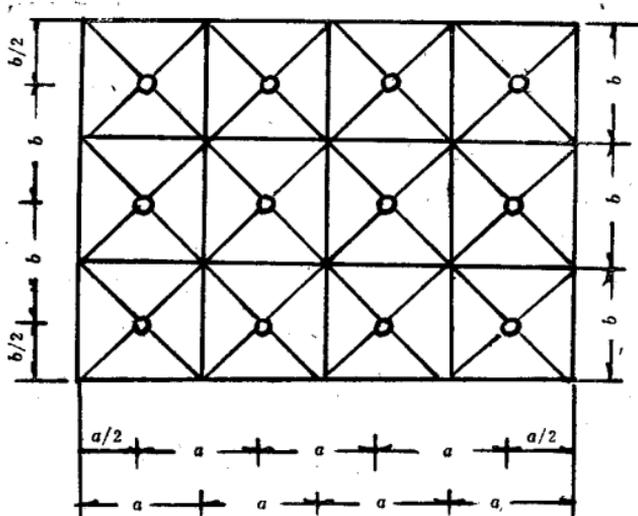
根据这些计算的数据在毕托管上好号并做上记号，以便测量时一一对号。参看图E2。



图E2 圆形管道各测点至管壁距离

## E1.2 矩形截面的管道

矩形管道中流量的测量方法可采用等面积小矩形法，即把它的截面划分为若干个小矩形，在每个小矩形对角线的交点上测量流速取平均值。划分方法如图E3所示。小矩形的数量取决于管道的边长，沿管道任一边长均匀分布的小矩形数量(测点排数)一般不应少于表E3中所列的数值。



图E3 矩形截面测点分布图

表E3 矩形管道测点数的选择

矩形管道截面边长, mm	≤500	>500~1000	>1000~1500	>1500~2000	>2000~2500	>2500
测点排数 <i>N</i>	3	4	5	6	7	8

## E2 计算方法

## E2.1 气体的平均流速

用毕托管测得截面上各点的动压头,就可以求出流体在各测点的流速 $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\omega_3$ ... $\omega_n$ ,然后求得该截面流体的平均流速 $\omega$ 。

$$\omega = (e/n) \sqrt{(2/\rho_i)} (\sqrt{p_1} + \sqrt{p_2} + \sqrt{p_3} + \dots + \sqrt{p_n}) \dots \dots (E-2)$$

式中:  $n$ ——测点数;

$e$ ——毕托管校正系数, 标准毕托管 $e=1$ ;

$p_1$ 、 $p_2$ 、... $p_n$ ——各测点的动压头, Pa;

$\rho_i$ ——工作状态下气体的密度, kg/m<sup>3</sup>,

$$\rho_i = \rho_0 \times 273 / (273 + t)$$

式中:  $t$ ——管道中气体的温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\rho_0$ ——标准状态下的气体密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ; 按下式计算:

$$\rho_0 = 0.01 \sum x_i \cdot \rho_{oi}$$

式中:  $\rho_{oi}$ ——各气体成分在标准状况下的密度, 见附录F表F5。

## E2.2 气体的平均流量

$$V_0 = 3600 A \cdot \omega \times 273 / (273 + t) \times (101325 + p_t) / 101325 \times (1/m_{pa}) \dots \dots \quad (\text{E}-3)$$

式中:  $A$ ——管道截面积,  $\text{m}^2$ ;

$p_t$ ——管道中实际温度下气体的静压头,  $\text{Pa}$ ;

$V_0$ ——标准状况下气体的平均流量,  $\text{m}^3/\text{kg}$ 产品。

## 附录F 各类数据表

(参考件)

表F1 各种煤的平均比热容

$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$

种 类	$V^r, \%$	比 热 容	种 类	$V^r, \%$	比 热 容
无 烟 煤	$\leq 10$	0.836	气 煤	$> 37$	1.263
贫 煤	10~20	0.836	长 焰 煤	$> 37$	1.305
瘦 煤	$\leq 20$	1.116	褐 煤	$> 37$	1.422
肥 煤	26~27	1.213	—	—	—

表F2 陶瓷与耐火材料的密度及其比热容经验计算公式

名 称	密度, $\text{kg}/\text{m}^3$	比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$
粘土质耐火砖	2100~2200	$0.836 + 2.63 \times 10^{-4}t$
陶瓷制品		
高铝质耐火砖	2300~2750	$0.836 + 2.51 \times 10^{-4}t$
硅砖	1900	$0.795 + 3.35 \times 10^{-4}t$
刚玉砖	2760~3100	$0.795 + 4.18 \times 10^{-4}t$
镁砖	2600	$0.941 + 2.51 \times 10^{-4}t$
莫来石砖	2200~2900	$0.67 + 1.26 \times 10^{-4}t$
硅线石质砖	2200~2600	$0.67 + 1.67 \times 10^{-4}t$
碳化硅砖	2400	$0.962 + 1.46 \times 10^{-4}t$
轻质高铝砖	800~1300	$0.84 + 2.6 \times 10^{-4}t$

续表F2

名 称	密度, kg/m <sup>3</sup>	比热容, kJ/(kg·°C)
轻质粘土砖	400~1200	$0.85 + 2.6 \times 10^{-4}t$
轻质硅砖	1100~1200	$0.8 + 3.34 \times 10^{-4}t$
珍珠岩	400	$0.093 + 1.4 \times 10^{-4}t$
硅藻土砖	550~650	$0.406 + 0.836 \times 10^{-4}t$
膨胀蛭石	100~300	0.7527(550°C时)
硅酸铝纤维毡	100~130	$0.8 + 2.93 \times 10^{-4}t$
矿渣棉	300	0.89
普通粘土砖	1700~1800	0.8781
普通混凝土	2000~2200	0.8363
红砖	1800~1900	$0.84 + 2.6 \times 10^{-4}t$
钢材	7700~7900	0.4600

注: t为各种材料的使用温度, °C。

表F3 未饱和水与过热水蒸气的热力性质表

kJ/kg

绝对压力 Pa (kgf/cm <sup>2</sup> )	温 度, °C												
	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200	220	240
$4.9 \times 10^4$ (0.5)	209.1	250.9	292.7	334.5	2659.9	2679.2	2718.5	2757.3	2796.2	2835.1	2874.0	2913.3	2952.6
$9.8 \times 10^4$ (1.0)	209.1	250.9	292.7	334.5	376.3	2679.3	2713.4	2753.2	2792.9	2832.2	2871.9	2911.2	2951.0
$2.0 \times 10^5$ (2.0)	209.1	250.9	292.7	334.5	376.8	418.6	2703.0	2744.8	2785.8	2826.8	2866.9	2907.5	2947.6
$3.9 \times 10^5$ (4.0)	209.5	250.9	292.7	334.9	376.8	418.6	503.0	588.4	2771.6	2814.6	2857.3	2899.1	2990.5
$5.9 \times 10^5$ (6.0)	209.5	251.3	293.1	334.9	376.8	419.0	503.5	588.4	2755.7	2802.1	2846.8	2890.3	2933.0
$7.8 \times 10^5$ (8.0)	209.5	251.3	293.1	334.9	377.2	419.0	503.5	588.8	674.9	2788.7	2836.0	2881.5	2925.5
$9.8 \times 10^5$ (10.0)	209.9	251.7	293.5	335.4	377.2	419.0	503.5	588.8	674.9	2774.5	2824.3	2871.9	2917.9
$11.8 \times 10^5$ (12.0)	209.9	251.7	293.5	335.4	377.2	419.4	503.9	588.8	674.9	762.3	2812.5	2862.3	2909.6
$13.7 \times 10^5$ (14.0)	210.3	251.7	293.5	335.4	377.6	419.4	503.9	589.2	674.9	762.3	2799.6	2851.9	2901.2
$15.7 \times 10^5$ (16.0)	210.3	252.2	294.0	335.8	377.6	419.8	503.9	589.2	675.3	762.3	851.4	2841.4	2892.4
$17.6 \times 10^5$ (18.0)	210.3	252.2	294.0	335.8	377.6	419.8	504.3	589.2	675.3	762.7	851.4	2830.1	2883.6
$19.6 \times 10^5$ (20.0)	210.8	252.6	294.4	336.2	278.0	419.8	504.3	589.6	675.3	762.7	851.4	2818.8	2874.0

## QB/T 2130—95

表F4 各种气体的平均比热容

kJ/(m<sup>3</sup>·°C)

温度/°C	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	空气	CO	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
0	1.6183	1.4886	1.3005	1.3005	1.2963	1.3005	1.2670	1.7330	1.264
100	1.7186	1.5012	1.3047	1.3047	1.3005	1.3130	1.2921	1.8190	1.541
200	1.8065	1.5179	1.3088	1.3088	1.3005	1.3339	1.2963	1.8943	1.574
300	1.8817	1.5388	1.3172	1.3172	1.3088	1.3548	1.3005	1.9612	1.608
400	1.9528	1.5597	1.3297	1.3297	1.3172	1.3767	1.3005	2.0239	1.645
500	2.0155	1.5848	1.3423	1.3423	1.3297	1.3967	1.3088	2.0741	1.683
600	2.0657	1.6099	1.3548	1.3590	1.3381	1.4176	1.3088	2.1159	1.721
700	2.1159	1.6350	1.3716	1.3716	1.3548	1.4343	1.3130	2.1535	1.759
800	2.1577	1.6601	1.3841	1.3883	1.3674	1.4510	1.3172	2.1870	1.796
900	2.1953	1.6852	1.3967	1.4008	1.3757	1.4686	1.3241	2.2126	1.830
1000	2.2288	1.7145	1.4092	1.4134	1.3883	1.4761	1.3297	2.2288	1.863

温度/°C	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>12</sub>
0	1.716	1.871	1.566	2.178	3.069	3.831	4.207	5.212
100	2.106	2.047	1.658	2.504	3.140	4.295	4.752	5.924
200	2.328	2.185	1.767	2.797	3.533	4.743	5.233	6.631
300	2.529	2.290	1.892	3.077	4.400	5.162	5.715	7.293
400	2.721	2.370	2.022	3.337	4.798	5.564	6.196	7.929
500	2.893	2.437	2.144	3.571	5.129	5.916	6.627	8.474
600	3.048	2.508	2.269	3.806	5.455	6.271	7.058	9.022
700	3.190	2.575	2.357	4.015	5.769	6.589	7.452	9.319
800	3.341	2.629	2.470	4.207	6.041	6.887	7.812	9.901
900	3.450	2.684	2.596	4.379	6.305	7.159	8.139	10.265
1000	3.567	2.734	2.709	4.542	6.523	7.410	8.444	10.600

表F5 常用气体的密度

kg/m<sup>3</sup>

名称	化学式	密度 ρ <sub>0</sub>
干空气		1.293
氧	O <sub>2</sub>	1.429

QB/T 2130—95

续表F5

名 称	化 学 式	密 度 $\rho_0$
氮	$N_2$	1.251
氢	$H_2$	0.090
二氧化碳	$CO_2$	1.997
一氧化碳	$CO$	1.250
二氧化硫	$SO_2$	2.926
水蒸气	$H_2O$	0.804

表F6 煤灰渣的平均比热容

温 度, $^{\circ}C$	比 热 容, $kJ/(kg \cdot ^{\circ}C)$
100	0.795
200	0.836
300	0.865
400	0.890
500	0.920
600	0.941
700	0.949
800	0.962
900	0.979
1000	1.004
1100	1.045
1200	1.129
1400	1.271

## QB/T 2130—95

表F7 各种材料的黑度和辐射系数的平均值

材 料 名 称	黑 度	辐 射 系 数
黑体	1	20.40
耐火砖(新的)	0.78	15.91
耐火砖(用过的)	0.84	17.14
红砖	0.91	18.56
锻铁(已生锈)	0.85	17.34
锻铁(涂铝)	0.50	10.20
锻铁(光亮)	0.45	9.18
铁板(已生锈)	0.67	13.67
钢板(有氧化层)	0.79	16.12
铸铁(铸面平滑)	0.79	16.12
铸铁(已氧化)	0.89	18.16

表F8 饱和水与饱和蒸汽热力性质表

温 度 (°C)		80	90	100	120	140	160	180	200	220	240
压力( $\times 10^5$ Pa)		0.473	0.701	1.013	1.984	3.611	6.177	10.020	15.538	23.183	33.455
比 容	液体( $\times 10^{-3}$ m <sup>3</sup> /kg)	1.0292	1.0361	1.0437	1.0606	1.0801	1.1022	1.1275	1.1565	1.1900	1.2291
	蒸汽(m <sup>3</sup> /kg)	3.4104	2.3624	1.6738	0.8920	0.5088	0.3069	0.1938	0.1271	0.0860	0.0596
焓	液体( $\times 10^2$ kJ/kg)	3.3492	3.7694	4.1906	5.0370	5.8910	6.7550	7.6310	8.5240	9.4370	10.3760
	蒸汽( $\times 10^3$ kJ/kg)	2.6438	2.6603	2.6793	2.7066	2.7340	2.7577	2.7771	2.7914	2.7999	2.8016

## 附录 G

## 主要热工测试仪表的规格型号

(参考件)

序号	名称	型号	量程	精度
1	铂铑30—铂铑6热电偶	WRLR-110	0~1600℃	≤600℃时, ±3℃ >600℃时, ±0.005t
2	镍铬—镍硅热电偶	WRNZ-328	0~1000℃	≤400℃时, ±4℃ >400℃时, ±0.0075t
3	镍铬—考铜热电偶	WRE-328	0~600℃	≤300℃时, ±4℃ >300℃时, ±0.1t
4	半导体点温计	68-A	0~300℃	≤±3℃
5	热流计	NWY-2	温度: -40~200℃	<0.05t
			热流: 0~8000~80000 kJ/(m <sup>2</sup> ·h)	—
6	热球式电风速计	QDF-2A	0.05~10m/s	0.05~2m/s时, <±0.1ω
		QDF-3	0.05~30m/s	2~30m/s时, <±0.05ω
7	高温风速计	6161	温度: 0~500℃	0.01t±1℃
			速度: 0~10m/s 0~50m/s	≤±0.1ω ≤±0.05ω
8	补偿式微压计	YJB-150	0~1500 Pa	<1.2 Pa
9	倾斜式压力计	2Y-200	0~2000 Pa	1级
10	奥氏气体分析仪	—	—	—
11	表面温度计	SW-2	0~400℃	<0.01t

注: ①t为被测物质的温度, ℃。

②ω为被测物质的流速, m/s。

## 附录 H

## 奥氏气体分析仪的使用方法

(参考件)

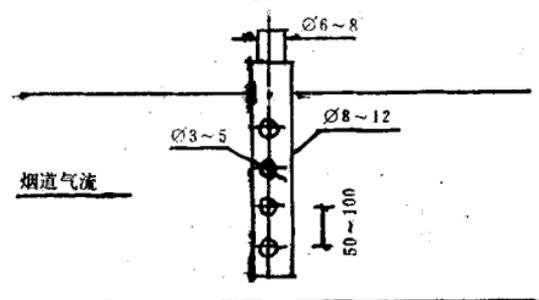
## H1 奥氏气体分析仪

奥氏气体分析仪是利用化学吸收法按容积测定气体成分的仪器, 常用来分析气体中的

二氧化碳、氧气、一氧化碳、氮气的容积分数。

## H2 取样要求

一般来说,烟道截面上的烟气成分的含量分布常常是不均匀的,因此,插入烟道的取样管上要开一些均匀的小孔。如下图所示。烟气分析试样的抽取可利用球胆或者排水取气等方法进行。取样时应注意将吸收瓶内空气排净,特别是在窑炉负压区内取样时要严格封闭,防止将外部空气吸入取样瓶内造成分析结果误差。



图H 取样管小孔示意图

## H3 吸收剂的配制方法

### H3.1 二氧化碳吸收液

取氢氧化钾100g溶于200ml蒸馏水中。

### H3.2 氧气吸收液

取氢氧化钾100g溶于130ml蒸馏水中,另取焦性没食子酸20g溶于60ml蒸馏水中,将两者配成混合液。配成后立即装入棕色瓶中密封,以免与空气接触失效。

### H3.3 一氧化碳吸收液

取氯化铵66g和氯化亚铜54g溶于100ml蒸馏水中,再加入该溶液体积1/3的氨水(25%)。

### H3.4 氮气吸收液

浓硫酸10ml加入90ml水中即可。

排气瓶液:5%硫酸溶液加氯化钠使成饱和溶液,甲基橙指示剂至微红色。

## H4 奥氏气体分析仪使用要求

H4.1 为防止分析仪漏气,各旋塞接触面应涂凡士林油膏,各玻璃部件的连接应用弹性好的厚橡皮管,各玻璃旋塞应用橡皮筋栓紧。

H4.2 分析程序是,首先测定二氧化碳,其次是氧气,最后测定一氧化碳。

为防止氨水分解出氨气,在最后吸收瓶中做一下吸收氨气,以免造成误差。

**H5 计算空气过剩系数  $\alpha$** **H5.1** 燃料中含氮量与燃烧空气中含氮量相比很少（如固体、液体燃料）时：

$$\alpha = N_2 / [N_2 - (O_2 - 0.5CO) \times (79/21)] \dots\dots\dots (H-1)$$

式中： $N_2$ ， $O_2$ ， $CO$ ——分别表示烟气中氮气，氧气和一氧化碳的体积分数。**H5.2** 燃料中含氮量较高（如发生炉煤气）时：

$$\alpha = (N_2 - N_{2r}) / [(N_2 - N_{2r} - (O_2 - 0.5CO - 0.5H_2 - 2CH_4) \times (79/21))] \dots\dots\dots (H-2)$$

式中： $N_{2r}$ ——燃料中氮气的体积分数。**附加说明：**

本标准由中国轻工总会经济贸易部提出。

本标准由全国陶瓷标准化中心归口。

本标准由中国陶瓷工业协会节能技术中心、江西省陶瓷研究所负责起草。

本标准主要起草人：陈功备、杨圣雄、陈军、王小兰。