



# 中华人民共和国有色金属行业标准

YS/T 119.9—2005

---

## 氧化铝生产专用设备 热平衡测定与计算方法 第 9 部分 流态化焙烧炉系统

Determination and calculation method of heat balance  
of special equipments for alumina production—  
Part 9: Fluidized baking-furnace system

2005-05-18 发布

2005-12-01 实施

---

国家发展和改革委员会 发布

## 前 言

本部分为首次发布。

本部分为 YS/T 119 的第 9 部分。

本部分根据目前国内氧化铝行业的实际情况和发展趋势的要求,制定了流态化焙烧炉系统的热平衡测定与计算方法,为准确量化流态化焙烧炉系统的能耗水平以及不同类型焙烧设备之间进行能耗比较提供了依据和方法。

本部分由全国有色金属标准化技术委员会提出并归口。

本部分由全国有色金属标准化技术委员会负责解释。

本部分由中国铝业股份有限公司贵州分公司负责起草。

本部分主要起草人:任剑、裴天毅、曾垂新、张凤琴、刘四清、王奎、刘成、狄贵华、刘贵生、崔鲁川。

# 氧化铝生产专用设备

## 热平衡测定与计算方法

### 第9部分 流态化焙烧炉系统

#### 1 范围

本部分规定了氧化铝厂氢氧化铝流态化焙烧炉系统的热平衡测定与计算基准、测定条件、测定项目及计算方法。

本部分适用于以燃油为燃料的氢氧化铝流态化焙烧炉系统的热平衡测定与计算。

#### 2 热平衡测定与计算基准

- 2.1 基准温度采用 0℃。
- 2.2 基准压力采用 101 325 Pa。
- 2.3 燃油的发热量按应用基(低)位发热量计算。
- 2.4 物料平衡与热平衡均以一吨成品氧化铝为基准进行计算。
- 2.5 流态化焙烧炉系统热平衡测定范围与计算体系如图 1 虚线范围所示,包括:一级文丘里干燥器、电收尘器、风动溜槽、饲料旋风器、二级文丘里干燥器、干燥旋风器、主炉、循环旋风器、风动冷却旋风器、风冷却床、水冷却床及物料输送管道。其中预热烘干部分包括:一级文丘里干燥器、电收尘器、风动溜槽、饲料旋风器、二级文丘里干燥器、干燥旋风器;焙烧部分包括:主炉、循环旋风器;冷却部分包括:风动冷却旋风器、风冷却床、水冷却床。

#### 3 设备状况及流程

##### 3.1 测试报告中设备状况的内容

- 3.1.1 写明设备的新旧程度、特点及存在问题,建成投产或上次大修后投产的日期。
- 3.1.2 设备及生产概况填写测定前三个月内某月的平均值,内容及报告格式见表 1。

表 1 设备及生产概况

厂名:	车间:	
项 目	单 位	数值或内容
炉型	—	
炉体规格(直径×高度)	m	
设计产能	t/h	
建成日期	—	
最后一次大修日期	—	
燃油种类	—	
油泵压力	Pa	
雾化方式	—	
燃油单耗	kg/t	
湿氢氧化铝下料量	kg/h	
湿氢氧化铝附着水含量	%	
炉实际产能	t/h	
吨氧化铝热耗	kJ/t	

YS/T 119.9—2005

## 3.2 工艺流程示意图

工艺流程示意图见图 1。

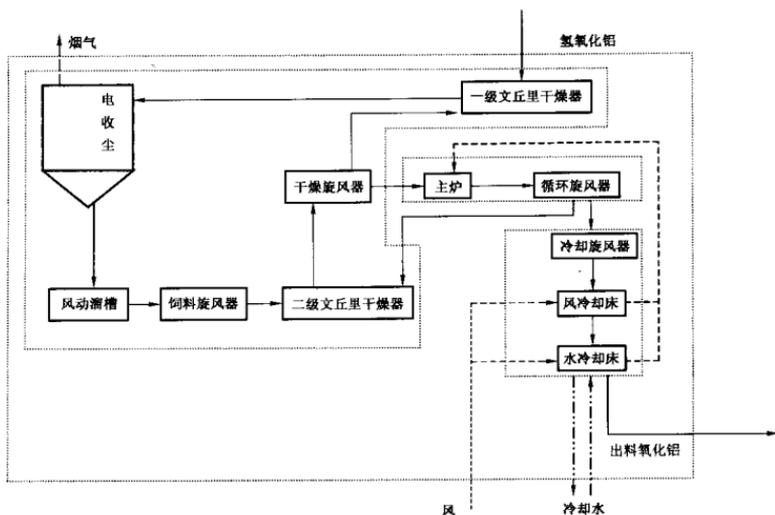


图 1 流态化焙烧炉工艺流程示意图

## 4 热平衡测试条件

## 4.1 被测设备和工艺要求

流态化焙烧炉热平衡测定，应在设备投产或上次大修投产后的中期进行，测定时期生产工艺必须稳定正常。

## 4.2 时间要求

测定应为一个连续工班，测定次数不少于二个班次。

## 4.3 测定用仪器仪表及计量器具的要求

测定用仪器仪表及计量器具的要求应在检定周期之内。

## 5 测定项目和方法以及报告格式

测定项目和方法以及报告格式见表 2。

表 2 流态化焙烧炉系统测定项目和方法

项 目	符号	单位	测定位置	测定仪器与方法	测定频率	取值原则	测定数据	
大气	温度	$t$	系统 环境 位置	水银温度计	2 小时 1 次	算术平均值		
	压力	$P$		Pa	大气压力表	2 小时 1 次	算术平均值	
	相对湿度	$\phi$		%	干湿球温度计	2 小时 1 次	算术平均值	

表 2(续)

项 目	符号	单位	测定位置	测定仪器 与方法	测定频率	取值原则	测定 数据	
入 炉 氢 氧 化 铝	湿氢氧化铝量	$M_{AH}$	kg/h	湿氢 氧化 铝下 料口	在线测定或 现场实测	2小时1次	算术平均值	
	湿氢氧化铝 附着水含量	$W_{AH}$	%		取样分析	2小时1次	算术平均值	
	湿氢氧化铝 结晶水含量	$W_{AH}^1$	%		取样分析	2小时1次	算术平均值	
	湿氢氧化铝温度	$t_{AH}$	℃		数字式温度计	2小时1次	算术平均值	
出 炉 氧 化 铝	氧化铝出 冷却机温度	$t_{AO}$	℃	氧化 铝出 料口 皮带	数字式温度计	2小时1次	算术平均值	
	成品氧化铝烧减量	$W_{AO}$	%		取样分析	2小时1次	算术平均值	
	成品氧化铝产量	$M_{AO}$	t/h		计算			
燃 油	耗油量	$M_y$	kg/h	油泵 出口 管道	在线测定	2小时1次	算术平均值	
	燃油入炉温度	$t_y$	℃		数字式温度计	2小时1次	算术平均值	
	燃油的取样				装入磨口瓶内	每班2次		
	燃油应用基成分	$C_y$	%		化学分析	不少于2次	算术平均值	
		$H_y$	%		化学分析	不少于2次	算术平均值	
		$O_y$	%		化学分析	不少于2次	算术平均值	
		$N_y$	%		化学分析	不少于2次	算术平均值	
		$S_y$	%		化学分析	不少于2次	算术平均值	
		$A_y$	%		化学分析	不少于2次	算术平均值	
	燃油应用基 (低)位发热量	$Q_{6w}$	kJ/kg		化学分析	不少于2次	算术平均值	
雾 化 蒸 汽	蒸汽耗用量	$M_0$	kg/h	雾化 蒸汽 管道	在线测定或蒸 汽流量计	2小时1次	算术平均值	
	蒸汽压力	$P_0$	Pa		在线测定或蒸 汽压力表	2小时1次	算术平均值	
	蒸汽温度	$t_0$	℃		在线测定或热 电偶温度计	2小时1次	算术平均值	
烟 囱 排 放 烟 气	烟气温度	$t_s$	℃	主 烟 道	数字式温度计	2小时1次	算术平均值	
	烟气含湿度	$X_{sw}$	%		干湿球温度计	2小时1次	算术平均值	
	含尘浓度	$C_s$	kg/Nm <sup>3</sup>		烟尘测试仪	2小时1次	算术平均值	
	粉尘均减	$L_n$	%		取样分析	2小时1次	算术平均值	
	烟气体积	$V_F$	Nm <sup>3</sup> /h		计算			
	CO <sub>2</sub> 含量	CO <sub>2</sub> <sup>s</sup>	%		烟气分析仪	2小时1次	算术平均值	
	CO含量	CO <sup>s</sup>	%		烟气分析仪	2小时1次	算术平均值	
	O <sub>2</sub> 含量	O <sub>2</sub> <sup>s</sup>	%		烟气分析仪	2小时1次	算术平均值	
	N <sub>2</sub> 含量	N <sub>2</sub> <sup>s</sup>	%		烟气分析仪	2小时1次	算术平均值	
	H <sub>2</sub> 含量	H <sub>2</sub> <sup>s</sup>	%		烟气分析仪	2小时1次	算术平均值	
CH <sub>4</sub> 含量	CH <sub>4</sub> <sup>s</sup>	%	烟气分析仪	2小时1次	算术平均值			

表 2(续)

项 目	符号	单位	测定位置	测定仪器与方法	测定频率	取值原则	测定数据		
鼓入空气	烘干系统鼓入空气量	$V_h$	$\text{Nm}^3/\text{h}$	鼓入空气管道	皮托管与微压计	2小时1次	算术平均值		
	烘干系统鼓入空气温度	$t_h$	$^{\circ}\text{C}$		数字式温度计	2小时1次	算术平均值		
	焙烧系统鼓入空气量	$V_p$	$\text{Nm}^3/\text{h}$	鼓入空气管道	皮托管与微压计	2小时1次	算术平均值		
	焙烧系统鼓入空气温度	$t_p$	$^{\circ}\text{C}$		数字式温度计	2小时1次	算术平均值		
	冷却系统鼓入空气量	$V_l$	$\text{Nm}^3/\text{h}$	鼓入空气管道	皮托管与微压计	2小时1次	算术平均值		
	冷却系统鼓入空气温度	$t_l$	$^{\circ}\text{C}$		数字式温度计	2小时1次	算术平均值		
冷却水	冷却水进口流量	$L_j$	$\text{m}^3/\text{h}$	冷却水出口管道	超声波流量计	2小时1次	算术平均值		
	冷却水进口温度	$t_j$	$^{\circ}\text{C}$		数字式温度计或在线测定	2小时1次	算术平均值		
	冷却水出口流量	$L_c$	$\text{m}^3/\text{h}$		超声波流量计	2小时1次	算术平均值		
	冷却水出口温度	$t_c$	$^{\circ}\text{C}$		数字式温度计或在线测定	2小时1次	算术平均值		
体系散热	烘干系统散热	表面温度	$t_{hs}$	烘干系统(包括管道)的表面	红外测温仪	3小时1次	算术平均值		
		环境温度	$t_{hs}$		$^{\circ}\text{C}$	水银温度计	3小时1次	算术平均值	
		环境风速	$F_{hs}$		$\text{m}/\text{s}$	热球式风速仪	3小时1次	算术平均值	
		散热面积	$A_{hs}$		$\text{m}^2$	对应测温区域			
		平均表面热流	$q_{hs}$		$\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$	计算			
		表面散热量	$Q_{hs}$		$\text{kJ}/\text{h}$	$Q_{hs} = q_{hs} \cdot A_{hs}$			
	焙烧系统散热	表面温度	$t_{ps}$	焙烧系统(包括管道)的表面	红外测温仪	3小时1次	算术平均值		
		环境温度	$t_{ps}$		$^{\circ}\text{C}$	水银温度计	3小时1次	算术平均值	
		环境风速	$F_{ps}$		$\text{m}/\text{s}$	热球式风速仪	3小时1次	算术平均值	
		散热面积	$A_{ps}$		$\text{m}^2$	对应测温区域			
		平均表面热流	$q_{ps}$		$\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$	计算			
		表面散热量	$Q_{ps}$		$\text{kJ}/\text{h}$	$Q_{ps} = q_{ps} \cdot A_{ps}$			
	冷却系统散热	表面温度	$t_{ls}$	冷却系统(包括管道)的表面	红外测温仪	3小时1次	算术平均值		
		环境温度	$t_{ls}$		$^{\circ}\text{C}$	水银温度计	3小时1次	算术平均值	
		环境风速	$F_{ls}$		$\text{m}/\text{s}$	热球式风速仪	3小时1次	算术平均值	
		散热面积	$A_{ls}$		$\text{m}^2$	对应测温区域			
		平均表面热流	$q_{ls}$		$\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$	计算			
		表面散热量	$Q_{ls}$		$\text{kJ}/\text{h}$	$Q_{ls} = q_{ls} \cdot A_{ls}$			
体系总散热量	$Q_s$	$\text{kJ}/\text{h}$		$Q_s = Q_{hs} + Q_{ps} + Q_{ls}$					

表 2(续)

项 目	符号	单位	测定位置	测定仪器与方法	测定频率	取值原则	测定数据	
热烟气	热烟气温度	$t_R$	℃	热烟气 管道	数字式温度计	2小时1次	算术平均值	
	热烟气含湿量	$X_{RSW}$	%		干湿球温度计	2小时1次	算术平均值	
	含尘浓度	$C_{Rc}$	kg/Nm <sup>3</sup>		烟尘测试仪	2小时1次	算术平均值	
	粉尘中 Al(OH) <sub>3</sub> 含量	$AH_R$	%		化学分析	2小时1次	算术平均值	
	粉尘中 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 含量	$Al_R$	%		化学分析	2小时1次	算术平均值	
	热烟气中 CO <sub>2</sub> 含量	$CO_{2R}^g$	%		烟气分析仪	2小时1次	算术平均值	
	热烟气中 O <sub>2</sub> 含量	$O_{2R}^g$	%		烟气分析仪	2小时1次	算术平均值	
	热烟气中 CO 含量	$CO_R^g$	%		烟气分析仪	2小时1次	算术平均值	
	热烟气中 N <sub>2</sub> 含量	$N_{2R}^g$	%		烟气分析仪	2小时1次	算术平均值	
	热烟气中 H <sub>2</sub> 含量	$H_{2R}^g$	%		烟气分析仪	2小时1次	算术平均值	
	热烟气中 NH <sub>3</sub> 含量	$NH_{3R}^g$	%		烟气分析仪	2小时1次	算术平均值	
	热烟气量	$V_R$	Nm <sup>3</sup> /h		测定与计算			
出烘干系统风量	$V_{cb}$	Nm <sup>3</sup> /h	测定与计算					
出烘干系统氢氧化铝温度	$t_{cb}$	℃		数字式温度计	2小时1次	算术平均值		
出烘干系统氢氧化铝量	$G_{cb}$	kg/Nm <sup>3</sup>		烟尘测试仪	2小时1次	算术平均值		
出焙烧系统风量	$V_{cb}$	Nm <sup>3</sup> /h		测定与计算				
出焙烧系统氧化铝温度	$t_{cb}$	℃		数字式温度计	2小时1次	算术平均值		
出焙烧系统氧化铝量	$G_{cb}$	kg/Nm <sup>3</sup>		测定与计算	2小时1次	算术平均值		

## 6 物料平衡计算

## 6.1 流态化焙烧炉系统物料平衡计算表以及报告格式见表 3。

表 3 流态化焙烧炉系统物料平衡计算表

序号	项目名称	符号	单位	依据或算式	数值
—	物料收入				
1	燃油量	$M_f$	kg/t	$M_f = M_r / M_{AO}$ 式中: $M_r$ ——每小时耗燃油量, kg/h; $M_{AO}$ ——每小时成品氧化铝产量, t/h	
2	干氢氧化铝量	$M_2$	kg/t	$M_2 = [M_{AH} \cdot (1 - W_{AH}/100)] / M_{AO}$ 式中: $M_{AH}$ ——每小时入炉湿氢氧化铝量, kg/h; $W_{AH}$ ——氢氧化铝附着水含量, %	

表 3(续)

序号	项目名称	符号	单位	依据或算式	数值
3	氢氧化铝附着水量	$M_3$	kg/t	$M_3 = [M_{AH} \cdot (W_{AH}/100)]/M_{AO}$	
4	鼓入体系内空气量	$M_4$	kg/t	$M_4 = [(V_n + V_o + V_L) \cdot \rho_0^k]/M_{AO}$ 式中: $\rho_0^k$ ——鼓入体系空气在标准状态下的密度, kg/m <sup>3</sup> ; $\rho_0^k = (N_2\% \cdot \rho_{N_2}^k + O_2\% \cdot \rho_{O_2}^k + H_2O\% \cdot \rho_{H_2O}^k)/100$ 其中: $N_2\%$ 、 $O_2\%$ 、 $H_2O\%$ ——空气中氮气等的体积含量, %; $\rho_{N_2}^k$ 、 $\rho_{O_2}^k$ 、 $\rho_{H_2O}^k$ ——空气中氮气等成分在标准状态下的密度, kg/m <sup>3</sup>	
5	进入水冷系统冷却水量	$M_5$	kg/t	$M_5 = (L_j \cdot \rho_0^0)/M_{AO}$ 式中: $\rho_0^0$ ——冷却水在 $t_j$ °C 下的密度, kg/m <sup>3</sup>	
6	雾化蒸汽量	$M_6$	kg/t	$M_6 = M_4/M_{AO}$	
	合计	$\Sigma M$	kg/t	$\Sigma M = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6$	
二	物料支出				
1	成品氧化铝量	$M_1'$	kg/t	$M_1' = 1000$	
2	烟气量	$M_2'$	kg/t	$M_2' = V_F \cdot \rho_F^0/M_{AO}$ 式中: $\rho_F^0$ ——烟气在标准状态下的密度, kg/m <sup>3</sup> $\rho_F^0 = (CO_2\% \cdot \rho_{CO_2} + N_2\% \cdot \rho_{N_2} + \dots + H_2O\% \cdot \rho_{H_2O})/100$ 其中: $CO_2\%$ 、 $\dots$ ——烟气中二氧化碳等成分的体积含量, %; $\rho_{CO_2}$ 、 $\dots$ ——烟气中二氧化碳等在标准状态下的密度, kg/m <sup>3</sup>	
3	烟囱排放灰量	$M_3'$	kg/t	$M_3' = G_N/M_{AO}$ 式中: $G_N$ ——每小时烟囱排放灰量, kg/h $G_N = C_c \cdot V_F$	
4	出水冷系统冷却水量	$M_4'$	kg/t	$M_4' = (L_c \cdot \rho_w)/M_{AO}$ 式中: $\rho_w$ ——冷却水在 $t_c$ °C 下的密度, kg/m <sup>3</sup>	
5	差值	$\Delta M$	kg/t	$\Delta M = \Sigma M - (M_1' + M_2' + M_3' + M_4')$	
	合计	$\Sigma M'$	kg/t	$\Sigma M' = M_1' + M_2' + M_3' + M_4' + \Delta M'$	

## 6.2 流态化焙烧炉系统物料平衡表及报告格式见表 4。

表 4 流态化焙烧炉系统物料平衡表

收 入				支 出			
符号	项目名称	数值		符号	项目名称	数值	
		kg/t	%			kg/t	%
$M_1$	燃油量			$M_1'$	成品氧化铝量		
$M_2$	干氢氧化铝量			$M_2'$	烟气量		
$M_3$	氢氧化铝附着水量			$M_3'$	烟囱排放灰量		
$M_4$	鼓入体系内空气量			$M_4'$	出水冷系统冷却水量		
$M_5$	进入水冷系统冷却水量			$\Delta M$	差值		
$M_6$	雾化蒸汽量						
$\Sigma M$	合计		100	$\Sigma M'$	合计		100

6.3 流态化焙烧炉系统物料平衡允许相对误差为±5%，即 $|\Delta M/\Sigma M| \times 100\% \leq 5\%$ 。

6.4 流态化焙烧炉系统预热烘干部分的物料平衡计算表及报告格式见表5。

表5 预热烘干部分物料平衡计算表

序号	项目名称	符号	单位	依据或算式	数值
—	物料收入				
1	干氢氧化铝量	$M_{b1}$	kg/t	$M_{b1} = M_2$	
2	氢氧化铝附着水量	$M_{b2}$	kg/t	$M_{b2} = M_3$	
3	鼓入空气量	$M_{b3}$	kg/t	$M_{b3} = (V_b \cdot \rho_0^b) / M_{AO}$	
4	鼓入热烟气量	$M_{b4}$	kg/t	$M_{b4} = (V_R \cdot \rho_1^R) / M_{AO}$ 式中： $\rho_1^R$ ——热风在标准状态下的密度，kg/m <sup>3</sup>	
5	热风含尘量	$M_{b5}$	kg/t	$M_{b5} = (C_{Rd} \cdot V_R) / M_{AO}$	
	合计	$\Sigma M_b$	kg/t	$\Sigma M_b = M_{b1} + M_{b2} + M_{b3} + M_{b4} + M_{b5}$	
二	物料支出				
1	出烘干系统氢氧化铝量	$M_{b1}'$	kg/t	$M_{b1}' = (G_{ch} \cdot V_{ch}) / M_{AO}$	
2	出烘干系统风量	$M_{b2}'$	kg/t	$M_{b2}' = (V_{ch} \cdot \rho_1^c) / M_{AO}$ 式中： $\rho_1^c$ ——出烘干空气在标准状态下的密度，kg/m <sup>3</sup>	
3	烟气量	$M_{b3}'$	kg/t	$M_{b3}' = M_2'$	
4	烟囱排放灰量	$M_{b4}'$	kg/t	$M_{b4}' = M_3'$	
5	差值	$\Delta M_b$	kg/t	$\Delta M_b = \Sigma M_b - (M_{b1}' + M_{b2}' + M_{b3}' + M_{b4}')$	
	合计	$\Sigma M_b'$	kg/t	$\Sigma M_b' = M_{b1}' + M_{b2}' + M_{b3}' + M_{b4}' + \Delta M_b$	

6.5 流态化焙烧炉系统预热烘干部分物料平衡表及报告格式见表6。

表6 预热烘干部分物料平衡表

收 入			支 出				
符号	项目名称	数值		符号	项目名称	数值	
		kg/t	%			kg/t	%
$M_{b1}$	干氢氧化铝量			$M_{b1}'$	出烘干系统氢氧化铝量		
$M_{b2}$	氢氧化铝附着水量			$M_{b2}'$	出烘干系统风量		
$M_{b3}$	鼓入空气量			$M_{b3}'$	烟气量		
$M_{b4}$	鼓入热烟气量			$M_{b4}'$	烟囱排放灰量		
$M_{b5}$	热风含尘量			$\Delta M_b$	差值		
$\Sigma M_b$	合计		100	$\Sigma M_b'$	合计		100

6.6 流态化焙烧炉系统预热烘干部分物料平衡允许相对误差为±5%，即 $|\Delta M_b/\Sigma M_b| \times 100\% \leq 5\%$ 。

6.7 流态化焙烧炉系统焙烧部分物料平衡计算表及报告格式见表7。

表7 焙烧部分物料平衡计算表

序号	项目名称	符号	单位	依据或算式	数值
—	物料收入				
1	燃油量	$M_{b1}$	kg/t	$M_{b1} = M_1$	
2	雾化蒸汽量	$M_{b2}$	kg/t	$M_{b2} = M_6$	

YS/T 119.9—2005

表 7(续)

序号	项目名称	符号	单位	依据或算式	数值
3	进焙烧系统氢氧化铝量	$M_{b1}$	kg/t	$M_{b1} = M_{b1}'$	
4	鼓入焙烧系统空气量	$M_{b4}$	kg/t	$M_{b4} = M_{b4}'$	
5	烘干系统进入空气量	$M_{b5}$	kg/t	$M_{b5} = M_{b5}'$	
	合计	$\Sigma M_b$	kg/t	$\Sigma M_b = M_{b1} + M_{b2} + M_{b3} + M_{b4} + M_{b5}$	
二	物料支出				
1	出焙烧系统氧化铝量	$M_{b1}'$	kg/t	$M_{b1}' = (G_{cb} \cdot V_{cb}) / M_{AO}$	
2	出焙烧系统风量	$M_{b2}'$	kg/t	$M_{b2}' = (V_{cb} \cdot \rho_{bc}^k) / M_{AO}$ 式中: $\rho_{bc}^k$ ——出焙烧系统空气标准状态下的密度, kg/m <sup>3</sup>	
3	热烟气量	$M_{b3}'$	kg/t	$M_{b3}' = M_{b4}$	
4	热烟气含尘量	$M_{b4}'$	kg/t	$M_{b4}' = M_{b5}$	
5	差值	$\Delta M_b$	kg/t	$\Delta M_b = \Sigma M_b - (M_{b1}' + M_{b2}' + M_{b3}' + M_{b4}')$	
	合计	$\Sigma M_b'$	kg/t	$\Sigma M_b' = M_{b1}' + M_{b2}' + M_{b3}' + M_{b4}' + \Delta M_b$	

6.8 流态化焙烧炉系统焙烧部分物料平衡表及报告格式见表 8。

表 8 焙烧部分物料平衡表

收 入				支 出			
符号	项目名称	数值		符号	项目名称	数值	
		kg/t	%			kg/t	%
$M_{b1}$	燃油量			$M_{b1}'$	出焙烧系统氧化铝量		
$M_{b2}$	雾化蒸汽量			$M_{b2}'$	出焙烧系统风量		
$M_{b3}$	进焙烧系统氢氧化铝量			$M_{b3}'$	热烟气量		
$M_{b4}$	鼓入焙烧系统空气量			$M_{b4}'$	热烟气含尘量		
$M_{b5}$	烘干系统进入空气量			$\Delta M_b$	差值		
$\Sigma M_b$	合计		100	$\Sigma M_b'$	合计		100

6.9 流态化焙烧炉系统焙烧部分物料平衡允许相对误差为 $\pm 5\%$ ,即 $|\Delta M_b / \Sigma M_b| \times 100\% \leq 5\%$ 。

6.10 流态化焙烧炉系统冷却部分物料平衡计算表及报告格式见表 9。

表 9 冷却部分物料平衡计算表

序号	项目名称	符号	单位	依据或算式	数值
一	物料收入				
1	进冷却系统的氧化铝量	$M_{L1}$	kg/t	$M_{L1} = M_{b1}'$	
2	鼓入空气量	$M_{L2}$	kg/t	$M_{L2} = (V_L \cdot \rho_b^k) / M_{AO}$	
3	焙烧系统进入风量	$M_{L3}$	kg/t	$M_{L3} = M_{b2}'$	
4	进入冷却水量	$M_{L4}$	kg/t	$M_{L4} = M_5$	
	合计	$\Sigma M_L$	kg/t	$\Sigma M_L = M_{L1} + M_{L2} + M_{L3} + M_{L4}$	
二	物料支出				
1	成品氧化铝量	$M_{L1}'$	kg/t	$M_{L1}' = 1000$	
2	出系统冷却水量	$M_{L2}'$	kg/t	$M_{L2}' = M_5$	

表 9(续)

序号	项目名称	符号	单位	依据或算式	数值
3	出冷却系统风量	$M_{L3}'$	kg/t	$M_{L3}' = M_{M4} = M_{L2}$ (不漏风状态)	
4	差值	$\Delta M_L$	kg/t	$\Delta M_L = \Sigma M_L - (M_{L1}' + M_{L2}' + M_{L3}')$	
	合计	$\Sigma M_L'$	kg/t	$\Sigma M_L' = M_{L1}' + M_{L2}' + M_{L3}' + \Delta M_L$	

6.11 流态化焙烧炉系统冷却部分物料平衡表及报告格式见表 10。

表 10 冷却部分物料平衡表

收 入				支 出			
符号	项目名称	数值		符号	项目名称	数值	
		kg/t	%			kg/t	%
$M_{L1}$	进冷却系统的氧化铝量			$M_{L1}'$	成品氧化铝量		
$M_{L2}$	鼓入空气量			$M_{L2}'$	出系统冷却水量		
$M_{L3}$	焙烧系统进入风量			$M_{L3}'$	出冷却系统风量		
$M_{L4}$	进入冷却水量			$\Delta M_L$	差值		
$\Sigma M_L$	合计		100	$\Sigma M_L'$	合计		100

6.12 流态化焙烧炉系统冷却部分物料平衡允许相对误差为±5%，即  $|\Delta M_L / \Sigma M_L| \times 100\% \leq 5\%$ 。

## 7 热平衡计算

7.1 流态化焙烧炉系统热平衡计算表及报告格式见表 11。

表 11 流态化焙烧炉系统热平衡计算表

序号	项目名称	符号	单位	依据或算式	数值
—	热收入				
1	燃油的燃烧热	$Q_1$	kJ/t	$Q_1 = Q_{\text{FW}} \cdot M_1$ 式中： $Q_{\text{FW}}$ ——燃油的应用基(低位)发热量，kJ/kg	
2	燃油带入物理显热	$Q_2$	kJ/t	$Q_2 = M_1 \cdot C_p \cdot t_1$ 式中： $C_p$ ——燃油在 $0 \sim t_1$ ℃ 之间的平均比热，kJ/(kg·℃)	
3	氢氧化铝带入显热	$Q_3$	kJ/t	$Q_3 = M_2 \cdot C_{\text{AH}} \cdot t_{\text{AH}}$ 式中： $C_{\text{AH}}$ ——氢氧化铝在 $0 \sim t_{\text{AH}}$ ℃ 之间的平均比热，kJ/(kg·℃)	
4	氢氧化铝附着水 带入显热	$Q_4$	kJ/t	$Q_4 = M_3 \cdot C_{\text{H}_2\text{O}} \cdot t_{\text{AH}}$ 式中： $C_{\text{H}_2\text{O}}$ ——水在 $0 \sim t_{\text{AH}}$ ℃ 之间的平均比热，kJ/(kg·℃)	
5	鼓入空气 带入显热	$Q_5$	kJ/t	$Q_5 = M_4 \cdot C_{\text{K}}^0 \cdot t_1$ 式中： $C_{\text{K}}^0$ ——分别为进入烘干、焙烧、冷却系统的空气在 $0 \sim t_1$ ℃ 之间的平均比热，kJ/(kg·℃) $t_1$ ——分别为进入烘干、焙烧、冷却系统的空气的温度，℃	
6	进入水冷系统 冷却水带入 物理显热	$Q_6$	kJ/t	$Q_6 = M_5 \cdot C_{\text{U}} \cdot t_1$ 式中： $C_{\text{U}}$ ——水在 $0 \sim t_1$ ℃ 之间的平均比热，kJ/(kg·℃)	

表 11(续)

序号	项目名称	符号	单位	依据或算式	数值
7	雾化蒸汽带入热	$Q_7$	kJ/t	$Q_7 = M_6 \cdot q_w$ 式中: $q_w$ ——雾化蒸汽的焓(汽化潜热), kJ/kg	
	合计	$\Sigma Q$	kJ/t	$\Sigma Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7$	
二	热支出				
1	成品氧化铝 带走显热	$Q_1'$	kJ/t	$Q_1' = M_1' \cdot C_{AO} \cdot t_{AO}$ 式中: $C_{AO}$ ——氧化铝在 $0 \sim t_{AO}$ ℃ 之间的平均比热, kJ/(kg·℃)	
2	烟气带走热	$Q_2'$	kJ/t	$Q_2' = \{ [M_2' \cdot (1 - X_{SW}/100)] / \rho_{FG} \} \cdot C_{FG} \cdot t_s$ 式中: $C_{FG}$ ——烟气在 $0 \sim t_s$ ℃ 之间的平均比热, kJ/(Nm <sup>3</sup> ·℃); $\rho_{FG}$ ——烟气在标准状态下的密度, kg/Nm <sup>3</sup> ; $t_s$ ——烟气温度, ℃	
3	氢氧化铝附着水和 结晶水蒸发吸热	$Q_3'$	kJ/t	$Q_3' = [M_3 + M_2 \cdot (W_{AH}/100)] \cdot [(100 - t_{AH}) \cdot C_{H_2O} + 2253.9 + 1.24(t_s - 100) \cdot C_{H_2O^g}]$ 式中: $C_{H_2O}$ ——水在 $t_{AH} \sim 100$ ℃ 之间的平均比热, kJ/(kg·℃); 2253.9——水在 100℃ 时的汽化潜热, kJ/kg; 1.24——标准状态下, 1 kg 水蒸气所占体积, Nm <sup>3</sup> /kg; $C_{H_2O^g}$ ——水蒸气在 $100 \sim t_s$ ℃ 之间的平均比热, kJ/(Nm <sup>3</sup> ·℃)	
4	烟气中粉尘带走热	$Q_4'$	kJ/t	$Q_4' = M_3' \cdot C_F \cdot t_s$ 式中: $C_F$ ——烟气中粉尘在 $0 \sim t_s$ ℃ 之间的平均比热, kJ/(kg·℃)	
5	化学不完全 燃烧损失热	$Q_5'$	kJ/t	$Q_5' = (M_2' / \rho_{FG}) \cdot [(CO^s/100) \times 12\ 630 + (H_2^s/100) \times 10\ 790 + (CH_4^s/100) \times 35\ 840]$ 式中: $CO^s$ ——烟气中一氧化碳等可燃气体的体积含量, %; 12 630——一氧化碳等可燃气体的燃烧热, kJ/Nm <sup>3</sup>	
6	冷却水带走热	$Q_6'$	kJ/t	$Q_6' = M_4' \cdot C_w \cdot t_s$ 式中: $C_w$ ——水在 $0 \sim t_s$ ℃ 之间的平均比热, kJ/(kg·℃)	
7	化学反应热	$Q_7'$	kJ/t	$2Al(OH)_3 = \gamma - Al_2O_3 + 3H_2O(\text{液})$ $\Delta H = 19.2 \times 4.1868$ kJ/克分子 $Al_2O_3$ $2Al(OH)_3 = \alpha - Al_2O_3 + 3H_2O(\text{液})$ $\Delta H = 11.3 \times 4.1868$ kJ/克分子 $Al_2O_3$ $Q_7' = (M_2 \times 1000 / 2 \times 78) \cdot [(\alpha/100) \times 47.25 + (\gamma/100) \times 80.29]$ 式中: $\alpha$ ——成品氧化铝中 $\alpha - Al_2O_3$ 的质量分数, %; $\gamma$ ——成品氧化铝中 $\gamma - Al_2O_3$ 的质量分数, %; 78——氢氧化铝的分子量, g/克分子	

表 11(续)

序号	项目名称	符号	单位	依据或算式	数值
8	表面散热	$Q_8'$	kJ/t	$Q_8' = (Q_{h8} + Q_{p8} + Q_{t8}) / M_{A0}$	
9	差值	$\Delta Q$	kJ/t	$\Delta Q = \Sigma Q - (Q_1' + Q_2' + Q_3' + Q_4' + Q_5' + Q_6' + Q_7' + Q_8')$	
	合计	$\Sigma Q'$	kJ/t	$\Sigma Q' = Q_1' + Q_2' + Q_3' + Q_4' + Q_5' + Q_6' + Q_7' + Q_8' + \Delta Q$	

7.2 流态化焙烧炉系统热平衡表及报告格式见表 12。

表 12 流态化焙烧炉系统热平衡表

收 入				支 出			
符号	项目名称	数值		符号	项目名称	数值	
		kJ/t	%			kJ/t	%
$Q_1$	燃油的燃烧热			$Q_1'$	成品氧化铝带走热		
$Q_2$	燃油带人物理显热			$Q_2'$	干烟气带走显热		
$Q_3$	干氢氧化铝带人显热			$Q_3'$	氢氧化铝附着水和结晶水蒸发吸热		
$Q_4$	氢氧化铝附着水带人显热			$Q_4'$	烟气中粉尘带走热		
$Q_5$	鼓入空气带人显热			$Q_5'$	化学不完全燃烧损失热		
$Q_6$	进入水冷系统冷却水带人物理显热			$Q_6'$	冷却水带走热		
$Q_7$	雾化蒸汽带人热			$Q_7'$	化学反应热		
				$Q_8'$	表面散热		
				$\Delta Q$	差值		
$\Sigma Q$	合计		100	$\Sigma Q'$	合计		100

7.3 热平衡允许相对误差为 $\pm 5\%$ ，即 $|\Delta Q / \Sigma Q| \times 100\% \leq 5\%$ 。

7.4 流态化焙烧炉系统预热烘干部分热平衡计算表及报告格式见表 13。

表 13 预热烘干部分热平衡计算表

序号	项目名称	符号	单位	依据或算式	数值
—	热收入				
1	干氢氧化铝带人显热	$Q_{s1}$	kJ/t	$Q_{s1} = Q_5$	
2	氢氧化铝附着水带人显热	$Q_{s2}$	kJ/t	$Q_{s2} = Q_4$	
3	鼓入空气带人显热	$Q_{s3}$	kJ/t	$Q_{s3} = M_{s3} \cdot C_{s3} \cdot t_{s3}$ 式中： $C_{s3}$ ——为空气在 $0 \sim t_{s3}^{\circ}\text{C}$ 之间的平均比热， $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$	
4	热烟气带人热	$Q_{s4}$	kJ/t	$Q_{s4} = M_{s4} \cdot C_{R} \cdot t_{R}$ 式中： $C_{R}$ ——为热风在 $0 \sim t_{R}^{\circ}\text{C}$ 之间的平均比热， $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$	
5	热烟气中粉尘带人显热	$Q_{s5}$	kJ/t	$Q_{s5} = M_{s5} \cdot C_{RP} \cdot t_{R}$ 式中： $C_{RP}$ ——为热风中粉尘在 $0 \sim t_{R}^{\circ}\text{C}$ 之间的平均比热， $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$	
	合计	$\Sigma Q_h$	kJ/t	$\Sigma Q_h = Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} + Q_{s5}$	

YS/T 119.9—2005

表 13(续)

序号	项目名称	符号	单位	依据或算式	数值
二	热支出				
1	出预热烘干系统 氢氧化铝带走热	$Q_{h1}'$	kJ/t	$Q_{h1}' = M_{h1}' \cdot C_{ch} \cdot t_{ch}$ 式中: $C_{ch}$ ——为氢氧化铝在 $0 \sim t_{ch}$ °C 之间的平均比热, kJ/(kg·°C)	
2	氢氧化铝附着水 蒸发吸热	$Q_{h2}'$	kJ/t	$Q_{h2}' = M_3 \cdot [(100 - t_{Ah}) \cdot C_{H_2O} + 2253.9 + 1.24 \times (t_s - 100) \cdot C_{H_2O}^s]$	
3	出预热烘干系统 风带走热	$Q_{h3}'$	kJ/t	$Q_{h3}' = M_{h3}' \cdot C_{ca} \cdot t_{ch}$ 式中: $C_{ca}$ ——为空气在 $0 \sim t_{ch}$ °C 之间的平均比热, kJ/(kg·°C)	
4	烟气带走热	$Q_{h4}'$	kJ/t	$Q_{h4}' = Q_2'$	
5	烟气中粉尘带走热	$Q_{h5}'$	kJ/t	$Q_{h5}' = Q_4'$	
6	预热烘干系统 表面散热	$Q_{h6}'$	kJ/t	$Q_{h6}' = Q_6 / M_{AO}$	
7	差值	$\Delta Q_h$	kJ/t	$\Delta Q_h = \sum Q_h - (Q_{h1}' + Q_{h2}' + Q_{h3}' + Q_{h4}' + Q_{h5}' + Q_{h6}')$	
	合计	$\sum Q_h'$	kJ/t	$\sum Q_h' = Q_{h1}' + Q_{h2}' + Q_{h3}' + Q_{h4}' + Q_{h5}' + Q_{h6}' + \Delta Q_h'$	

7.5 流态化焙烧炉系统预热烘干部分热平衡表及报告格式见表 14。

表 14 预热烘干部分热平衡表

收 入				支 出			
符号	项目名称	数值		符号	项目名称	数值	
		kJ/t	%			kJ/t	%
$Q_{h1}$	干氢氧化铝带入显热			$Q_{h1}'$	出预热烘干系统氧化铝 带走热		
$Q_{h2}$	氢氧化铝附着水带入显热			$Q_{h2}'$	氢氧化铝附着水蒸发吸热		
$Q_{h3}$	鼓入空气带入显热			$Q_{h3}'$	出预热烘干系统风带走热		
$Q_{h4}$	热风带入热			$Q_{h4}'$	烟气带走热		
$Q_{h5}$	热烟气中粉尘带入显热			$Q_{h5}'$	烟气中粉尘带走热		
				$Q_{h6}'$	预热烘干系统表面散热		
				$\Delta Q_h$	差值		
$\sum Q_h$	合计		100	$\sum Q_h'$	合计		100

7.6 流态化焙烧炉系统预热烘干部分热平衡允许相对误差为  $\pm 5\%$ , 即  $|\Delta Q_h / \sum Q_h| \times 100\% \leq 5\%$ 。

7.7 流态化焙烧炉系统焙烧部分的热平衡计算表及报告格式见表 15。

表 15 焙烧部分热平衡计算表

序号	项目名称	符号	单位	依据或算式	数值
一	热收入				
1	燃油的燃烧热	$Q_{b1}$	kJ/t	$Q_{b1} = Q_1$	
2	燃油带入物理显热	$Q_{b2}$	kJ/t	$Q_{b2} = Q_2$	
3	雾化蒸汽带入热	$Q_{b3}$	kJ/t	$Q_{b3} = Q_7$	

表 15(续)

序号	项目名称	符号	单位	依据或算式	数值
4	进入焙烧系统 氢氧化铝带入热	$Q_{b4}$	kJ/t	$Q_{b4} = Q_{b1}'$	
5	鼓入空气带入热	$Q_{b5}$	kJ/t	$Q_{b5} = M_{a4} \cdot C_{bk} \cdot t_p$ 式中: $C_{bk}$ ——为空气在 $0 \sim t_b$ °C 之间的平均比热, kJ/(kg·°C)	
	合计	$\Sigma Q_b$	kJ/t	$\Sigma Q_b = Q_{b1} + Q_{b2} + Q_{b3} + Q_{b4} + Q_{b5}$	
二	热支出				
1	出焙烧系统 氧化铝带走热	$Q_{b1}'$	kJ/t	$Q_{b1}' = M_{b1}' \cdot C_{cb} \cdot t_{cb}$ 式中: $C_{cb}$ ——为氧化铝在 $0 \sim t_{cb}$ °C 之间的平均比热, kJ/(kg·°C)	
2	热烟气带走热	$Q_{b2}'$	kJ/t	$Q_{b2}' = Q_{b4}$	
3	热烟气中粉尘带走热	$Q_{b3}'$	kJ/t	$Q_{b3}' = Q_{b4}$	
4	出焙烧系统风带走热	$Q_{b4}'$	kJ/t	$Q_{b4}' = M_{a2}' \cdot C_{ab} \cdot t_{ab}$ 式中: $C_{ab}$ ——为空气在 $0 \sim t_{ab}$ °C 之间的平均比热, kJ/(kg·°C)	
5	氢氧化铝结晶水 蒸发吸热	$Q_{b5}'$	kJ/t	$Q_{b5}' = (M_2 \cdot W_{AH}'/100) \cdot [(100 - t_{AH}) \cdot C_{H_2O} + 2253.9 + 1.24(t_b - 100) \cdot C_{H_2O}^g]$	
6	化学反应热	$Q_{b6}'$	kJ/t	$Q_{b6}' = Q_{r}'$	
7	表面散热	$Q_{b7}'$	kJ/t	$Q_{b7}' = Q_b/M_{AO}$	
8	差值	$\Delta Q_b$	kJ/t	$\Delta Q_b = \Sigma Q_b - (Q_{b1}' + Q_{b2}' + Q_{b3}' + Q_{b4}' + Q_{b5}' + Q_{b6}' + Q_{b7}')$	
	合计	$\Sigma Q_b'$	kJ/t	$\Sigma Q_b' = Q_{b1}' + Q_{b2}' + Q_{b3}' + Q_{b4}' + Q_{b5}' + Q_{b6}' + Q_{b7}' + \Delta Q_b'$	

7.8 流态化焙烧炉系统焙烧部分热平衡表及报告格式见表 16。

表 16 焙烧部分热平衡表

收 入				支 出			
符号	项目名称	数值		符号	项目名称	数值	
		kJ/t	%			kJ/t	%
$Q_{b1}$	燃油的燃烧热			$Q_{b1}'$	出焙烧系统氧化铝带走热		
$Q_{b2}$	燃油带入物理显热			$Q_{b2}'$	热风带走热		
$Q_{b3}$	雾化蒸汽带入热			$Q_{b3}'$	热风中粉尘带走热		
$Q_{b4}$	进入焙烧系统 氢氧化铝带入热			$Q_{b4}'$	出焙烧系统风带走热		
$Q_{b5}$	鼓入空气带入热			$Q_{b5}'$	氢氧化铝结晶水蒸发吸热		
				$Q_{b6}'$	化学反应热		
				$Q_{b7}'$	表面散热		
				$\Delta Q_b$	差值		
$\Sigma Q_b$	合计		100	$\Sigma Q_b'$	合计		100

7.9 流态化焙烧炉系统焙烧部分热平衡允许误差为  $\pm 5\%$ , 即  $|\Delta Q_b / \Sigma Q_b| \times 100\% \leq 5\%$ 。

7.10 流态化焙烧炉系统冷却部分热平衡计算表及报告格式见表 17。

表 17 冷却部分热平衡计算表

序号	项目名称	符号	单位	依据或算式	数值
一	热收入				
1	进冷却系统氧化铝带入热	$Q_{L1}$	kJ/t	$Q_{L1} = Q_{b1}'$	
2	进冷却系统风带入热	$Q_{L2}$	kJ/t	$Q_{L2} = Q_{b4}'$	
3	鼓入空气带入热	$Q_{L3}$	kJ/t	$Q_{L3} = M_{L3} \cdot C_{L1} \cdot t_L$ 式中： $C_{L1}$ ——为空气在 $0 \sim t_L$ °C 之间的平均比热， kJ/(kg·°C)。	
4	冷却水带入物理显热	$Q_{L4}$	kJ/t	$Q_{L4} = Q_b$	
5	合计	$\Sigma Q_L$	kJ/t		
二	热支出				
1	出冷却系统氧化铝带走热	$Q_{L1}'$	kJ/t	$Q_{L1}' = Q_{b1}'$	
2	出冷却系统风带走热	$Q_{L2}'$	kJ/t	$Q_{L2}' = Q_{b5}$	
3	冷却水带走热	$Q_{L3}'$	kJ/t	$Q_{L3}' = Q_b'$	
4	表面散热	$Q_{L4}'$	kJ/t	$Q_{L4}' = Q_{Lb}/M_{A0}$	
5	差值	$\Delta Q_L$	kJ/t	$\Delta Q_L = \Sigma Q_L - (Q_{L1}' + Q_{L2}' + Q_{L3}' + Q_{L4}')$	
	合计	$\Sigma Q_L'$	kJ/t	$\Sigma Q_L' = Q_{L1}' + Q_{L2}' + Q_{L3}' + Q_{L4}' + \Delta Q_L'$	

7.11 流态化焙烧炉系统冷却部分热平衡表及报告格式见表 18。

表 18 冷却部分热平衡表

收 入				支 出			
符号	项目名称	数值		符号	项目名称	数值	
		kJ/t	%			kJ/t	%
$Q_{L1}$	进冷却系统氧化铝带入热			$Q_{L1}'$	出冷却系统氧化铝带走热		
$Q_{L2}$	进冷却系统风带入热			$Q_{L2}'$	出冷却系统风带走热		
$Q_{L3}$	鼓入空气带入热			$Q_{L3}'$	冷却水带走热		
$Q_{L4}$	冷却水带入物理显热			$Q_{L4}'$	表面散热		
				$\Delta Q_L$	差值		
$\Sigma Q_L$	合计		100	$\Sigma Q_L'$	合计		100

7.12 流态化焙烧炉系统冷却部分热平衡允许相对误差为  $\pm 5\%$ ，即  $|\Delta Q_L / \Sigma Q_L| \times 100\% \leq 5\%$ 。

## 8 热效率及主要技术指标

8.1 流态化焙烧炉系统的热效率按公式(1)计算。

$$\eta = [(Q_3' + Q_7') / (Q_1 + Q_7)] \times 100\% \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中：

 $Q_3'$ ——氢氧化铝附着水和结晶水的蒸发吸热，单位为千焦每吨(kJ/t)； $Q_7'$ ——化学反应热，单位为千焦每吨(kJ/t)； $Q_1$ ——燃油的燃烧热，单位为千焦每吨(kJ/t)； $Q_7$ ——雾化蒸汽带入热，单位为千焦每吨(kJ/t)。

8.2 流态化焙烧炉系统预热烘干部分的热效率按公式(2)计算。

$$\eta_{\text{预干}} = [Q_{b2}' / (Q_{b4} + Q_{b5})] \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

$Q_{b2}'$ ——氢氧化铝附着水蒸发吸热,单位为千焦每吨(kJ/t);

$Q_{b4}$ ——热烟气带入热,单位为千焦每吨(kJ/t);

$Q_{b5}$ ——热烟气中粉尘带入显热,单位为千焦每吨(kJ/t)。

8.3 流态化焙烧炉系统焙烧部分的热效率按公式(3)计算。

$$\eta_{\text{焙烧}} = [(Q_{b5}' + Q_{b6}') / (Q_{b1} + Q_{b3})] \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$Q_{b5}'$ ——氢氧化铝结晶水蒸发吸热,单位为千焦每吨(kJ/t);

$Q_{b6}'$ ——化学反应热,单位为千焦每吨(kJ/t);

$Q_{b1}$ ——燃油的燃烧热,单位为千焦每吨(kJ/t);

$Q_{b3}$ ——雾化蒸汽带入热,单位为千焦每吨(kJ/t)。

8.4 流态化焙烧炉系统冷却部分的余热利用率按公式(4)计算。

$$\eta_{\text{余热}} = (Q_{L2}' - Q_{L3}) / Q_{L1} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$Q_{L2}'$ ——出冷却系统风带走热,单位为千焦每吨(kJ/t);

$Q_{L3}$ ——鼓入空气带入热,单位为千焦每吨(kJ/t);

$Q_{L1}$ ——进冷却系统氧化铝带入热,单位为千焦每吨(kJ/t)。

8.5 主要技术指标及报告格式见表 19。

表 19 主要技术指标

序号	名称	符号或算式	单位	数值
1	炉产能	$M_{\text{AlO}}$	t/h	
2	单位热耗	$Q_1 + Q_2$	kJ/t	
3	烟气过剩空气系数	$\alpha$		
4	烟气 CO 含量	$\text{CO}\%$	%	
5	烟气温度	$t_s$	℃	

9 热平衡测定分析及改进建议

9.1 对设备结构、操作及工艺制度的分析。

9.2 对热效率及主要技术指标的评价。

9.3 提出节能途径及改进建议。