



中华人民共和国有色金属行业标准

YS/T 119.7—2004

氧化铝生产专用设备 热平衡测定与计算方法 第7部分 管道化溶出系统

Determination and calculation of heat balance of
special equipments for alumina production—
Part 7: Tube digestion system

2004-06-17 发布

2004-11-01 实施

国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 热平衡测定与计算基准	1
4 设备状况及流程	1
5 热平衡测试条件	3
6 测定项目和方法以及报告格式	3
7 管道化溶出部分的物料平衡及热平衡计算以及报告格式	8
8 熔盐炉物料平衡及热平衡计算以及报告格式	11
9 热效率及主要技术指标	14
10 热平衡测定分析与改进建议报告	15

前 言

根据目前国内氧化铝行业的实际情况和发展趋势的要求,管道化溶出系统等一些新型的氧化铝生产设备已成功的开发并应用于国内氧化铝生产,这些设备以其独特的工艺和先进的技术改善了我国氧化铝生产的技术经济指标,但是管道化溶出系统的热平衡测定与计算方法至今尚未制定。

本部分的制定可规范管道化溶出系统的热平衡测定与计算方法,准确量化管道化溶出系统的能耗水平,有利于不同溶出设备之间进行能耗比较。

本部分制定过程中遵循 GB 2586《热量单位、符号与换算》、GB/T 2587《热设备能量平衡通则》以及 GB/T 2588《设备热效率计算通则》,创新性地提出了系统中溶出部分的热平衡测定和计算方法和熔盐加热炉的热平衡测定与计算方法,并给出了各自的热效率和总的热效率的计算方法。

本部分由全国有色金属标准化技术委员会提出并归口。

本部分由中国铝业股份有限公司河南分公司负责起草。

本部分主要起草人:李晓勇、张虎、闫晋钢、何静华、罗梅、马治强。

本部分由全国有色金属标准技术委员会负责解释。

氧化铝生产专用设备

热平衡测定与计算方法

第7部分 管道化溶出系统

1 范围

本部分规定了氧化铝生产管道化溶出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。

本部分适用于氧化铝生产以燃油为燃料的熔盐间接加热的管道化溶出系统的热平衡测定与计算。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 260 石油产品水分测定法

GB/T 384 石油产品热值测定法

GB/T 388 石油产品硫含量测定法（氧弹法）

GB/T 476 煤的元素分析方法

GB/T 508 石油产品灰分测定方法

GB 2586 热量单位、符号与换算

GB/T 2587 热设备能量平衡通则

GB/T 2588 设备热效率计算通则

3 热平衡测定与计算基准

3.1 基准温度

基准温度采用 0℃

3.2 基准压力

基准压力采用 101 325 Pa。

3.3 燃油的发热量

燃料的发热量按应用基低位（位）发热量计算。

3.4 计算单位

物料平衡及热平衡均以 1 m³ 原矿浆为基准进行计算。

3.5 热平衡测定范围与计算体系

管道化溶出系统的热平衡测定范围和计算体系包括管道化溶出和熔盐炉两部分，各部分热平衡测定范围和计算体系，如图 1、图 2 虚线范围内所示。

4 设备状况及流程

4.1 测试报告中设备状况的内容

4.1.1 写明设备的新旧程度、特点及存在的问题，建成投产或上次大修后投产的日期。

4.1.2 设备及生产概况填写测试前三个月内某月的平均值，内容以及报告格式见表 1。

表 1 设备及生产概况

厂 名	车 间	组 号
项 目	单 位	数值或内容
产能	m ³ /h	
蒸汽种类	—	
蒸汽消耗	t/h	
燃料种类	—	
燃料消耗	t/h	
单位热耗	kJ/m ³	

4.2 设备流程图

设备流程图见图 1、图 2。

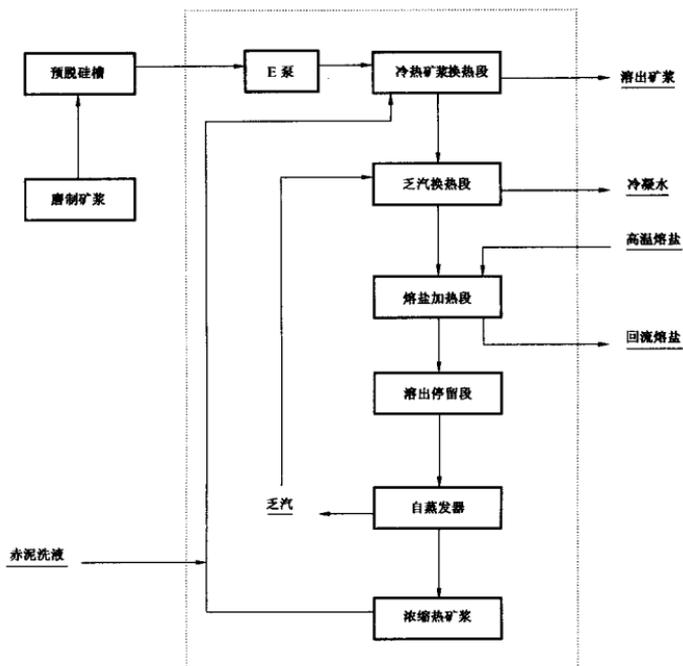


图 1 溶出部分工艺流程图

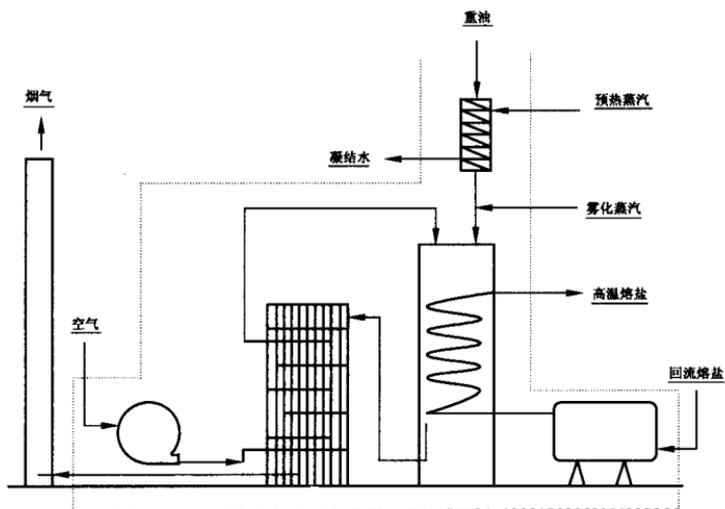


图 2 熔盐炉工艺流程图

5 热平衡测试条件

5.1 被测设备和工艺要求

管道化溶出测定,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。

5.2 时间要求

测定应为一个连续工班,测定次数不少于三个班次。

5.3 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。

6 测定项目和方法以及报告格式

6.1 管道化溶出部分测定项目和方法以及报告格式见表 2。

表 2 管道化溶出部分测定项目和单位

项 目	符 号	单 位	测点位置	测定仪器与 方法	测定频率	取值原则	测定 数据	
预脱硅矿浆	矿浆量	V_y	m^3/h	隔膜泵 进口管道	流量计	8 小时累积数	累积数的 算术平均值	
	矿浆温度	t_y	$^{\circ}C$	隔膜泵 进口管道	测温仪表	2 小时 1 次	算术平均值	
	固体含量	m_s^y	kg/m^3		取样实测	2 小时 1 次	算术平均值	
	固体密度	ρ_s^y	kg/m^3		取样实测	2 小时 1 次	算术平均值	
	溶液密度	ρ_l^y	kg/m^3		实测或计算	2 小时 1 次	算术平均值	
	固体成分 SiO ₂ Fe ₂ O ₃ Al ₂ O ₃ CaO 总 Na ₂ O	Si _y Fe _y Al _y Ca _y N _y	%		化学分析	2 小时 1 次	算术平均值	
	溶液成分: Na ₂ O _T Na ₂ O _c Na ₂ O _s Al ₂ O ₃	NT _y NC _y NS _y Al _y	g/L		化学分析	2 小时 1 次	算术平均值	
	固体比热	C_s^y	$kJ/(kg \cdot ^{\circ}C)$		实测或计算	2 小时 1 次 取综合样测定	算术平均值	
	溶液比热	C_l^y	$kJ/(kg \cdot ^{\circ}C)$		实测或计算	2 小时 1 次	算术平均值	
	赤泥洗液	溶液成分: Na ₂ O _T Na ₂ O _c Na ₂ O _s Al ₂ O ₃	NT _x NC _x NS _x Al _x		g/L	洗液管路	化学分析	2 小时 1 次
比热		C_x	$kJ/(kg \cdot ^{\circ}C)$	实测或计算	2 小时 1 次		算术平均值	
温度		T_x	$^{\circ}C$	测温仪表	2 小时 1 次		算术平均值	
预脱硅	蒸汽耗用量	M_q	kg/h	预脱硅蒸汽 管道	蒸汽流量计	8 小时累积数	累积数的 算术平均值	
	蒸汽压力	P_q	Pa		蒸汽压力表	2 小时 1 次	算术平均值	
	蒸汽温度	t_q	$^{\circ}C$		红外测温仪	2 小时 1 次	算术平均值	

表 2 (续)

项 目	符 号	单 位	测点位置	测定仪器与方法	测定频率	取值原则	测定数据	
溶出稀释矿浆	溶出矿浆温度	T_{rc}	℃	去稀释槽前 出料管路	测温仪表	1 小时 1 次	算术平均值	
	固体密度	$\rho_{T_{rc}}^s$	kg/m ³		取样实测	2 小时 1 次	算术平均值	
	溶液密度	$\rho_{T_{rc}}^l$			实测或计算	2 小时 1 次	算术平均值	
	固体成分: SiO ₂ Fe ₂ O ₃ Al ₂ O ₃ CaO 总 Na ₂ O	Si _{rc} Fe _{rc} Al _{rc} Ca _{rc} N _{rc}			%	化学分析	2 小时 1 次	算术平均值
	溶液成分: Na ₂ O _T Na ₂ O _c Na ₂ O _s Al ₂ O ₃	NT _{rc} NC _{rc} NS _{rc} Al _{rc}	g/L		化学分析	2 小时 1 次	算术平均值	
	固体比热	C_{rc}	kJ/(kg·℃)		实测	取综合样测定	算术平均值	
	溶液比热	C_{rc}^l	kJ/(kg·℃)		实测或计算	2 小时 1 次	算术平均值	
	出末级冷凝器	冷凝水流量	V_{ln}^1		m ³ /h	末级冷凝器 出水管路	流量计	8 小时累积
冷凝水温度		t_{ln}^1	℃	测温仪表	1 小时 1 次		算术平均值	
冷凝水压力		P_{ln}^1	Pa	压力表	1 小时 1 次		算术平均值	
表面 散热 损失 测定	表面温度	T_{ln}	℃	各设备及管路	红外测温仪	每班不少于 2 次	算术平均值	
	环境温度	t_a	℃	距设备或 管路 1 m	水银温度计 测定	每班不 少于 2 次	算术平均值	
	环境风速	W_{fn}	m/s	距设备或 管路 1 m	热球式风速 仪测定	每班不 少于 2 次	算术平均值	
	散热面积	F_i	m ²	各设备及管 路外表面	实测或 据图计算			
	散热量	Q_b	kJ/m ³		计算		$Q_b = \sum q_i F_i / V_i$	

6.2 熔盐炉测定项目和方法以及报告格式见表 3。

表 3 熔盐炉测定项目和办法

项 目	符 号	单 位	测点位置	测定仪器与 方法	测定频率	取值原则	测定 数据		
燃 油	耗油量	M_{ry}	kg/h	油泵出口管道	流量计累积值	8小时累积数	累积数的 算术平均值		
	进重油预热器的 油温	t_{ry}^1	℃		红外测温仪	2小时1次	算术平均值		
	进熔盐炉的 油温	t_{ry}^2	℃	靠近熔盐炉 进口管道	红外测温仪	2小时1次	算术平均值		
	燃油的取样	—	—	油泵出口管道	装入磨口瓶内	2小时1次,每 班取综合样1个	—		
	燃油的应用基 成分	C^r	%		油泵出口管道	GB/T 476	—	算术平均值	
		H^r				GB/T 476			
O^r		GB/T 476							
N^r		GB/T 476							
S^r		GB/T 388							
W^r	GB/T 260								
A^r	GB/T 508								
燃油应用基 低位发热量	Q_{bw}^r	kJ/kg ^r	油泵出口管道	GB/T 384	取3个综合样 进行分析	算术平均值			
雾 化 蒸 汽	蒸汽耗用量	M_q^r	kg/h	重油雾化前 蒸汽管道	蒸汽流量计	8小时累积数	累积数的算术 平均值		
	蒸汽压力	P_q^r	Pa		蒸汽压力表	2小时1次	算术平均值		
	蒸汽温度	t_q^r	℃		红外测温仪	2小时1次	算术平均值		
预 热 蒸 汽	蒸汽耗用量	M_q^r	kg/h	重油预热器前 预热蒸汽管道	蒸汽流量计 或测凝结水	2小时1次	算术平均值		
	蒸汽压力	P_q^r	Pa		蒸汽压力表	1小时1次	算术平均值		
	蒸汽温度	t_q^r	℃		红外测温仪	1小时1次	算术平均值		
熔 盐	熔盐循环量	V_{ry}	m ³ /h	熔盐泵出口	流量计	8小时累积数	累积数的算术 平均值		
	熔盐炉 出口盐温	T_{ryc}	℃	熔盐炉熔盐 出口管道	测温仪表	2小时1次	算术平均值		
	熔盐炉 回流盐温	T_{ryf}	℃	熔盐炉熔盐 回流管道	测温仪表	2小时1次	算术平均值		
大 气	温度	T	℃	—	水银温度计	2小时1次	—		
	压力	P	Pa	—	大气压力表	2小时1次	—		
	相对湿度	φ	%	—	大气湿度 测定仪	2小时1次	—		

表 3 (续)

项 目	符 号	单 位	测点位置	测定仪器与 方法	测定频率	取值原则	测定 数据	
鼓 风 机 鼓 入 空 气	进预热器温度	t_k^*	℃	进预热器前 风管	水银温度计	2小时1次	算术平均值	
	进熔盐炉温度	t_k^*	℃	进熔盐炉 前热风管	水银温度计	2小时1次	算术平均值	
	平均风速	W_{ep}	m/s	进预热器前 风管	根据测定原始 数据计算	2小时1次	算术平均值	
	风 量	工作状态	V_k^*	m ³ /h	—	根据 W_{ep} 计算	—	—
标准状态		V_k^0	Nm ³ /h	—	根据 V_k^* 计算	—	—	
烟 气	干烟气成分	N ₂ [*] CO ₂ [*] CO [*] O ₂ [*] H ₂ [*] CH ₄ [*]	%	出空气预热 器烟道	气体分析仪	2小时1次 每次2个样	算术平均值	
	烟气过剩 空气系数	α	—	—	计算	—	—	
	排烟温度	t_{py}	℃	出空气预热 器烟道	石英玻璃 水银温度计	每班2次	算术平均值	
	含水量	X_{py}	%	出空气预 热器烟道	冷凝法或计算	每班不少于2次 每次2套数据	算术平均值	
	工作状态	V_i^*	m ³ /h	—	皮托管、微压计 实测;或根据 燃烧理论与物 料平衡计算	每班实测4次	以计算值为准 实测值作参考	
	标准状态	V_i^0	Nm ³ /h	出空气预热 器烟道	根据工作状态 烟气流推算	—	由 V_i^* 、 t 等进 行计算	
预 热 蒸 汽	冷凝水温度	t_m^*	℃	冷凝水管道 出口	水银温度计	每2小时1次	算术平均值	
	冷凝水压力	p_m^*	Pa	冷凝水 出口管道	压力表	每2小时1次	算术平均值	

表 3 (续)

项 目	符 号	单 位	测点位置	测定仪器与 方法	测定频率	取值原则	测定 数据	
表面 散热	表面温度	t_h	℃	各设备及管路	红外测温仪 多点测量	各段各测点 的算术平均值	每班 2 次	
	散热面积	F_i	m^2	设备表面	实测或根据 图纸计算	—	—	
	平均表面热流	q_i	$kJ/(m^2 \cdot h)$	各对应测温 区段	热流仪 多点测量	—	—	
	各区段 表面散热	Q_i	kJ/h	各设备表面	$Q_i = q_i \cdot F_i$	—	—	
	总散热损失	Q	kJ/h	—	$Q = \Sigma(q_i \cdot F_i)$	—	—	

7 管道化溶出部分的物料平衡及热平衡计算以及报告格式

7.1 管道化溶出部分物料平衡计算表以及报告格式见表 4。

表 4 物料平衡计算表

序号	项 目	符号	单 位	依 据 或 算 式	数 值
一	物料收入				
1	原矿浆 固体量	M_1 m_1^s	kg/m^3	实测	$M_1 = m_1^s + m_1^l$ $m_1^l = \rho_1^l (1 - m_1^s / \rho_1^s)$
	溶液量	m_1^l			
	赤泥洗液	M_2			
	合计	ΣM	kg/m^3	$\Sigma M = M_1 + M_2$	
二	物料支出				
1	出末级冷凝器冷凝水量	M'_1	kg/m^3	$M'_1 = \rho_{(t,0)} \cdot V'_{1h} / V_y$ 式中： V'_{1h} ——出末级冷凝器冷凝水流量， m^3/h ； V_y ——矿浆量， m^3/h ； $\rho_{(t,0)}$ ——在对应温度为 t ，压力为 P 的条件下， 冷凝水的密度， kg/m^3	
	溶出矿浆量 固体量	M'_2 m_2^s	kg/m^3	$M'_2 = m_2^s + m_2^l$ $m_2^s = M'_2 \cdot [CaO]_y^s / [CaO]_n^s$ 式中： M'_2 ——原矿浆中的固体量， kg/m^3 ； $[CaO]_y^s$ ——原矿浆的固相中氧化钙的含量，%； $[CaO]_n^s$ ——溶出矿浆的固相中氧化钙的 含量，%； m_2^l ——溶出矿浆中液体量， kg/m^3 。 $m_2^l = M'_2 - m_2^s$	
	液体量	m_2^l			式中： m_2^l ——溶出矿浆中液体含量， kg/m^3 。
3	差值	ΔM		$\Delta M = \Sigma M - M'_1 - M'_2$	
	合计	$\Sigma M'$		$\Sigma M' = M'_1 + M'_2 + \Delta M$	

7.2 管道化溶出部分物料平衡表以及报告格式见表5。

表5 管道化溶出部分物料平衡表

收 入				支 出			
符 号	项 目	数 值		符 号	项 目	数 值	
		kg/m ³	%			kg/m ³	%
M ₁	原矿浆量			M' ₁	末级冷凝器冷凝水量		
M ₂	赤泥洗液量			M' ₂	溶出矿浆量		
				ΔM	差值		
ΣM	合 计		100	ΣM'	合 计		100

7.3 物料平衡允许相对误差为±5%，即： $|\Delta M/\Sigma M| \times 100\% \leq 5\%$ 。

7.4 管道化溶出部分热平衡计算表以及报告格式见表6。

表6 管道化溶出部分热平衡计算表

序号	项 目	符号	单 位	依据或算式	数值
一、	热收入				
1	熔盐带入热	Q ₁	kJ/m ³	$Q_1 = (V_{ry}/V_y) \cdot \rho_{ry} \cdot C_{ry} \cdot t_{ry}$ 式中：V _{ry} ——每小时熔盐循环量，m ³ /h； ρ _{ry} ——熔盐的密度，kg/m ³ ； C _{ry} ——熔盐在 0-t _{ry} 间的平均比热，kJ/(kg·℃)； t _{ry} ——熔盐出炉温度，℃； V _y ——每小时原矿浆进料量，m ³ /h。	
2	原矿浆带入热	Q ₂	kJ/m ³	$Q_2 = Q'_2 + Q''_2$ $Q'_2 = m'_2 \cdot C'_2 \cdot t_2$ 式中：C' ₂ ——原矿浆固体物质在 0-t ₂ 间的平均比热，kJ/(kg·℃)。 $Q''_2 = m''_2 \cdot C''_2 \cdot t_2$ 式中：C'' ₂ ——原矿浆溶液在 0-t ₂ 间的平均比热，kJ/(kg·℃)。	
	固体带入热	Q' ₂			
	溶液带入热	Q'' ₂			
3	赤泥洗液带入热	Q ₃	kJ/m ³	$Q_3 = (V_x/V_y) \cdot \rho_x \cdot C_x \cdot t_x$	
	合计	ΣQ	kJ/m ³	ΣQ=Q ₁ +Q ₂ +Q ₃	
二、	热支出				
1	回流熔盐带走热	Q' ₁	kJ/m ³	$Q'_1 = (V_{ry}/V_y) \cdot \rho_{ry} \cdot C_{ry} \cdot t_{ry}$ 式中：V _{ry} ——每小时熔盐循环量，m ³ /h； ρ _{ry} ——熔盐的密度，kg/m ³ ； C _{ry} ——熔盐在 0-t _{ry} 间的平均比热，kJ/(kg·℃)； t _{ry} ——回流熔盐进熔盐炉温度，℃； V _y ——原矿浆每小时进料量，m ³ /h。	

表 6 (续)

序号	项 目	符号	单位	依据或算式	数值
2	溶出矿浆带走热	Q'_2	kJ/m ³	$Q'_2 = Q'_{2c} + Q'_{2s}$	
	其中: 固体物质带走热	Q'_{2c}		$Q'_{2c} = m'_{2c} \cdot C'_{2c} \cdot t'_{2c}$ 式中: C'_{2c} ——溶出矿浆固体物质在 $0-t'_{2c}$ 间的平均比热, kJ/(kg·°C)。	
	溶液带走热	Q'_{2s}		$Q'_{2s} = m'_{2s} \cdot C'_{2s} \cdot t'_{2s}$ 式中: C'_{2s} ——溶出矿浆溶液在 $0-t'_{2s}$ 间的平均比热, kJ/(kg·°C)。	
3	出末级冷凝器冷凝水带走的热	Q'_3	kJ/m ³	$Q'_3 = M'_1 \cdot h_1$ 式中: h_1 ——出末级冷凝器冷凝水的热焓, kJ/kg。	
4	化学反应热 原矿浆中 Al ₂ O ₃ 的 溶出率	Q'_4 η_a	kJ/m ³ %	$Q'_4 = 640 \cdot M'_y \cdot A_y \cdot \eta_a$ $\eta_a = [1 - (A_{2c}/A_y) \cdot (S_y/S_{2c})] \times 100$ 式中:	
	一水硬铝石溶解吸热	640	kJ/kg	A_{2c} 、 S_{2c} ——分别为溶出矿浆固体中 Al ₂ O ₃ 和 SiO ₂ 的含量, %; A_y 、 S_y ——分别为原矿浆的 Al ₂ O ₃ 和 SiO ₂ 的含量, %。	
5	溶出设备系统 表面散热	Q'_5	kJ/m ³	$Q'_5 = \Sigma q_i \cdot F_i / V_y$ 式中: q_i ——设备和管道表面的平均表面热流, kJ/(m ² ·h); F_i ——设备和管道表面面积, m ² 。	
6	差值	ΔQ	kJ/m ³	$\Delta Q = \Sigma Q - (Q'_1 + Q'_2 + Q'_3 + Q'_4 + Q'_5)$	
	合计	$\Sigma Q'$	kJ/m ³	$\Sigma Q' = Q'_1 + Q'_2 + Q'_3 + Q'_4 + Q'_5 + \Delta Q$	

7.5 管道化溶出部分热平衡表以及报告格式见表 7。

表 7 管道化溶出部分热平衡表

收 入				支 出			
符 号	项 目	数 值		符 号	项 目	数 值	
		kJ/m ³	%			kJ/m ³	%
Q_1	熔盐带入热			Q'_1	回流熔盐带走热		
Q_2	原矿浆带入热			Q'_2	溶出矿浆带走热		
Q_3	赤泥洗液带入热			Q'_3	出末级冷凝器冷凝水带走热		
				Q'_4	化学反应热		
				Q'_5	溶出设备系统表面散热		
				ΔQ	差值		
ΣQ	合 计		100	$\Sigma Q'$	合 计		100

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

8 熔盐炉物料平衡及热平衡计算以及报告格式

8.1 熔盐炉物料平衡计算表以及报告格式见表8。

表8 熔盐炉物料平衡计算表

序号	项 目	符号	单位	依据或算式	数值
一	物料收入				
1	燃油量	M'_1	kg/m ³	$M'_1 = M_{1y} / V_y$ 式中: M_{1y} ——每小时耗燃油量, kg/h; V_y ——每小时原矿浆量, m ³ /h.	
2	雾化蒸汽量	M'_2	kg/m ³	$M'_2 = M'_{2y} / V_y$ 式中: M'_{2y} ——每小时雾化蒸汽耗用量, kg/h.	
3	鼓风机吸入空气量	M'_3	kg/m ³	$M'_3 = V'_k \cdot \rho'_k / V_y$ 式中: V'_k ——鼓风机每小时鼓入的标准状态下的空气量, Nm ³ /h; ρ'_k ——标准状态下空气的密度, kg/Nm ³ $\rho'_k = (N_2 \cdot \rho'_{N_2} + O_2 \cdot \rho'_{O_2} + H_2O \cdot \rho'_{H_2O}) / 100$ 式中: N_2 、 O_2 、 H_2O ——空气中氮气等成分的体积含量, %; ρ'_{N_2} 、 ρ'_{O_2} 、 ρ'_{H_2O} ——空气中氮气等成分在标准状态下的密度, kg/Nm ³ .	
	合计	ΣM	kg/m ³	$\Sigma M = M'_1 + M'_2 + M'_3$	
二	物料支出				
1	废气量	M_1	kg/m ³	$M_1 = \rho'_1 \cdot V'_f / V_y$ 式中: V'_f ——每小时排走的标准状态下的废气量, Nm ³ /h; ρ'_1 ——标准状态下废气的密度, kg/Nm ³ ; $\rho'_1 = (CO_2 \cdot \rho'_{CO_2} + N_2 \cdot \rho'_{N_2} + \dots + H_2O \cdot \rho'_{H_2O}) / 100$ 式中: CO_2 、 N_2 、 \dots 、 H_2O ——废气中二氧化碳等成分的体积含量, %; ρ'_{CO_2} 、 ρ'_{N_2} 、 \dots 、 ρ'_{H_2O} ——废气中二氧化碳等成分在标准状态下的密度, kg/Nm ³ .	
2	差值	ΔM	kg/m ³	$\Delta M = \Sigma M - M_1$	
	合计	$\Sigma M'$	kg/m ³	$\Sigma M' = M_1 + \Delta M$	

8.2 熔盐炉物料平衡表以及报告格式见表9。

表9 熔盐炉物料平衡表

收 入				支 出			
符 号	项 目	数 值		符 号	项 目	数 值	
		kg/m ³	%			kg/m ³	%
M ₁ '	燃油量			M ₁	废气量		
M ₂ '	雾化蒸汽量			ΔM	差值		
M ₃ '	助燃空气量						
ΣM'	合计		100	ΣM'	合计		100

8.3 物料平衡允许相对误差为±5%，即： $|\Delta M/\Sigma M| \times 100\% \leq 5\%$ 。

8.4 熔盐炉热平衡计算表以及报告格式见表10。

表10 熔盐炉热平衡计算表

序号	项 目	符号	单位	依据或算式	数值
一、	热收入				
1	重油带入显热	Q ₁	kJ/m ³	$Q_1 = M_1' \cdot C_{cv} \cdot t_{cv}'$ 式中：C _{cv} ——燃油在 0-t _{cv} 间的平均比热，kJ/(kg·°C)； t _{cv}'} ——燃油进重油预热器温度，°C。	
2	燃油的燃烧热	Q ₂	kJ/m ³	$Q_2 = Q_{2sw} \cdot M_1'$ 式中：Q _{2sw} ——燃油应用基低(位)发热量，kJ/kg。	
3	雾化蒸汽带入热	Q ₃	kJ/m ³	$Q_3 = M_2' \cdot h_2'$ 式中：M ₂ '——每 m ³ 原矿浆消耗的雾化蒸汽量，kg/m ³ ； h ₂ '——蒸汽热焓，kJ/kg，查表。	
4	助燃空气带入显热	Q ₄	kJ/m ³	$Q_4 = (M_3' / \rho_a^0) \cdot C_a \cdot t_a$ 式中：C _a ——空气在 0-t _a 间的平均比热，kJ/(Nm ³ ·°C)； t _a ——空气进空气预热器时的温度，°C； ρ _a ⁰ ——空气在标准状态下的密度，kg/Nm ³ ； $\rho_a^0 = (N_2 \cdot \rho_{N_2}^0 + O_2 \cdot \rho_{O_2}^0 + \dots + H_2O \cdot \rho_{H_2O}^0) / 100$ 式中：N ₂ 、O ₂ 、…、H ₂ O——空气中氮气等成分在空气中的体积含量，%； ρ _{N₂} ⁰ 、ρ _{O₂} ⁰ 、…、ρ _{H₂O} ⁰ ——空气中氮气等成分在标准状态下的密度，kg/Nm ³ 。	
5	预热重油的蒸汽带入显热	Q ₅	kJ/m ³	$Q_5 = (M_4' / V_4) \cdot h_4'$ 式中：M ₄ '——每小时预热重油消耗的蒸汽量，kg/h； h ₄ '——蒸汽热焓，kJ/kg，查表。	

表 10 (续)

序号	项 目	符号	单位	依据或算式	数值
6	回流熔盐带入显热	Q_6	kJ/m^3	$Q_6 = (V_{ry}/V_s) \cdot \rho_{ry} \cdot C_{ry} \cdot t_{ry}$ 式中: V_{ry} ——每小时熔盐循环量, m^3/h ; ρ_{ry} ——熔盐的密度, kg/m^3 ; C_{ry} ——熔盐的比热, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$; t_{ry} ——回流熔盐进熔盐炉温度, $^\circ\text{C}$ 。	
	合计	$\Sigma Q'$	kJ/m^3	$\Sigma Q = Q_1' + Q_2' + Q_3' + Q_4' + Q_5' + Q_6'$	
二、	热支出				
1	熔盐带走显热	Q_1'	kJ/m^3	$Q_1' = (V_{ry}/V_s) \cdot \rho_{ry} \cdot C_{ry} \cdot t_{ry}$ 式中: V_{ry} ——每小时熔盐循环量, m^3/h ; ρ_{ry} ——熔盐的密度, kg/m^3 ; C_{ry} ——熔盐比热, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$; t_{ry} ——熔盐出熔盐炉温度, $^\circ\text{C}$ 。	
2	废气带走显热	Q_2'	kJ/m^3	$Q_2' = (M_1^0/\rho_1^0) \cdot C_1 \cdot t_1$ 式中: M_1^0 ——排走的废气体量, kg/Nm^3 ; C_1 ——废气在 $0-t_1$ 间的平均比热, $\text{kJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$; t_1 ——废气的温度, $^\circ\text{C}$ 。	
3	化学不完全燃烧损失热	Q_3'	kJ/m^3	$Q_3' = (M_1^0/\rho_1^0) \cdot [(CO^0/100) \times 12\ 630 + (H_2^0/100) \times 10\ 790 + (CH_4^0/100) \times 35\ 840]$ 式中: CO^0 、 H_2^0 、 CH_4^0 ——空气预热器出口烟气(湿废气)中 CO 、 H_2 、 CH_4 等气体的体积含量, %; ρ_1^0 ——空气预热器出口烟气(湿废气)在标准状态下的密度, kg/Nm^3 ; 12 630、10 790、35 840—— CO 、 H_2 、 CH_4 等气体的燃烧热, kJ/Nm^3 。	
4	预热重油的蒸汽冷凝水带走的热	Q_4'	kJ/m^3	$Q_4' = (M_{H_2O}^0/V_s) \cdot h_{H_2O}$ 式中: $M_{H_2O}^0$ ——每小时预热重油的蒸汽的消耗量, kg/h ; h_{H_2O} ——水的热焓, kJ/kg 。	
5	设备系统表面散热	Q_5'	kJ/m^3	$Q_5' = \Sigma(q_n \cdot F_n)/V_s$ 式中: q_n ——第 n 部分设备的平均表面热流, $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; F_n ——第 n 部分设备的散热表面积, m^2 。	
6	差值	ΔQ		$\Delta Q = \Sigma Q' - (Q_1' + Q_2' + Q_3' + Q_4' + Q_5')$	
	合计	$\Sigma Q'$	kJ/m^3	$\Sigma Q' = Q_1' + Q_2' + Q_3' + Q_4' + Q_5' + \Delta Q$	

8.5 熔盐炉热平衡表以及报告格式见表 11。

表 11 熔盐炉热平衡表

收 入			支 出				
符 号	项 目	数 值		符 号	项 目	数 值	
		kJ/m ³	%			kJ/m ³	%
Q ₁	燃油带入显热			Q ₁ '	出炉熔盐带走的显热		
Q ₂	燃油的燃烧热			Q ₂ '	排烟烟气带走的显热		
Q ₃	雾化蒸汽带入热			Q ₃ '	化学不完全燃烧损失热		
Q ₄	助燃空气带入显热			Q ₄ '	预热重油蒸汽冷凝水带走热		
Q ₅	预热重油蒸汽带入热			Q ₅ '	溶出设备系统表面散热		
Q ₆	回流熔盐带入显热			ΔQ	差值		
ΣQ'	合计		100	ΣQ'	合计		100

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

9 热效率及主要技术指标

9.1 管道化溶出部分热效率 η_{11} ，按公式(1)计算：

$$\eta_{11}(\%) = (Q_2' + Q_3' + Q_4' - Q_2 - Q_3) / (Q_1 - Q_1') \times 100 \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中：

Q₂'——溶出矿浆带走热，单位为千焦每立方米(kJ/m³)；

Q₃'——出末级冷凝器冷凝水带走热，单位为千焦每立方米(kJ/m³)；

Q₄'——化学反应热，单位为千焦每立方米(kJ/m³)；

Q₂——原矿浆带入热，单位为千焦每立方米(kJ/m³)；

Q₃——赤泥洗液带入热，单位为千焦每立方米(kJ/m³)；

Q₁——熔盐带入热，单位为千焦每立方米(kJ/m³)；

Q₁'——熔盐带走热，单位为千焦每立方米(kJ/m³)。

9.2 熔盐炉热效率 η_c 按公式(2)计算：

$$\eta_c(\%) = (Q_1' - Q_6') / (Q_2' + Q_3' + Q_5') \times 100 \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中：

Q₁'——出炉熔盐带走的显热，单位为千焦每立方米(kJ/m³)；

Q₆'——回流熔盐带入的显热，单位为千焦每立方米(kJ/m³)；

Q₂'——燃油的燃烧热，单位为千焦每立方米(kJ/m³)；

Q₃'——雾化蒸汽带入显热，单位为千焦每立方米(kJ/m³)；

Q₅'——预热重油蒸汽带入热，单位为千焦每立方米(kJ/m³)。

9.3 管道化溶出系统的热效率 η 按公式(3)计算：

$$\eta(\%) = (Q_2' + Q_3' + Q_4' - Q_2 - Q_3) / (Q_2' + Q_3' + Q_5' + Q_1) \times 100 \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中：

Q₂'——溶出矿浆带走热，单位为千焦每立方米(kJ/m³)；

Q₃'——出末级冷凝器冷凝水带走热，单位为千焦每立方米(kJ/m³)；

Q₄'——化学反应热，单位为千焦每立方米(kJ/m³)；

Q₂——原矿浆带入热，单位为千焦每立方米(kJ/m³)；

- Q_3 ——赤泥洗液带入热,单位为千焦每立方米(kJ/m^3);
 Q_2' ——燃油的燃烧热,单位为千焦每立方米(kJ/m^3);
 Q_3' ——雾化蒸汽带入显热,单位为千焦每立方米(kJ/m^3);
 Q_4' ——预热重油蒸汽带入热,单位为千焦每立方米(kJ/m^3);
 Q_1 ——预脱硅蒸汽带入热,单位为千焦每立方米(kJ/m^3)。

9.4 主要技术指标以及报告格式见表 12。

表 12 主要技术指标

序号	名称	符号或算式	单位	数值
1	产能	V_v	m^3/h	
2	燃油耗量	M_1'	kg/m^3	
3	单位热耗	$Q_2' + Q_3' + Q_4' + Q_1$ $K(Q_2' + Q_3' + Q_4' + Q_1) \times 10^{-3}$	kJ/m^3 $\text{MJ}/\text{t-AO}$	
4	烟气过剩空气系数	α		
5	窑尾烟气 CO 含量	$\text{CO}^{\#}$	%	
6	排烟温度	t_{py}	$^{\circ}\text{C}$	

注: K 为生产 1 t 氧化铝所需的原矿浆量,取测定前一个月的生产统计数。

10 热平衡测定分析与改进建议报告

- 10.1 对设备结构、操作及工艺制度的分析。
- 10.2 对热效率及主要技术指标的评价。
- 10.3 提出节能途径及改进建议。