

中华人民共和国有色金属行业标准

YS/T 480—2005

铝电解槽能量平衡测试与计算方法 四点进电和两点进电预焙阳极铝电解槽

Aluminium cell test for energy balance and its calculation method
—Four-point feed current and two-point feed current
prebaked anode aluminium cell

2005-05-18 发布

2005-12-01 实施

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 通则与基本量	1
3 计算参数选择与测试项目	2
4 测试仪表	3
5 能量平衡计算原则	3
6 测试数据处理及计算公式	4
7 铝电解槽能量平衡分析	8
附录 A (规范性附录) 四点进电预焙阳极铝电解槽电压平衡测试与计算方法	9
附录 B (规范性附录) 两点进电预焙阳极铝电解槽电压平衡测试与计算方法	17

前 言

本标准根据目前国内铝行业的实际情况和发展趋势的要求,以及四点进电预焙阳极铝电解槽等一些新型的铝电解生产设备在国内铝电解生产中的成功应用,特制订两点进电和四点进电预焙阳极铝电解槽能量平衡测试与计算方法,有利于准确量化预焙阳极铝电解槽的能耗水平,有利于不同铝电解槽之间进行能耗比较。

本标准附录 A 和附录 B 为规范性附录。

本标准由全国有色金属标准化技术委员会提出并归口。

本标准由全国有色金属标准化技术委员会负责解释。

本标准由中国铝业股份有限公司贵州分公司负责起草。

本标准主要起草人:龚春雷、蔡逸侠、曾垂新、刘四清、张凤琴、狄贵华、任剑、李小青、黄燕、刘钢。

铝电解槽能量平衡测试与计算方法

四点进电和两点进电预焙阳极铝电解槽

1 范围

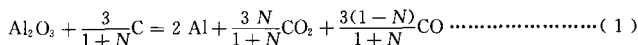
本标准规定了冰晶石-氧化铝熔盐电解法四点进电和两点进电预焙阳极铝电解槽能量平衡的测试方法与计算方法。

本标准适用于冰晶石-氧化铝熔盐电解法四点进电和两点进电预焙阳极铝电解槽能量平衡测试与计算。

2 通则与基本量

2.1 铝电解基本过程的总反应式

铝电解基本过程总反应式见公式(1)。



式中 N 为阳极气体中 CO_2 的体积分数, $N = [\text{CO}_2 / (\text{CO}_2 + \text{CO})] \times 100\%$ 。

2.2 物料平衡

2.2.1 电解槽每小时产铝量

电解槽每小时产铝量见公式(2)。

$$M = 0.3355 I \eta \dots\dots\dots(2)$$

式中:

M ——电解槽每小时原铝产量,单位为千克每小时(kg/h);

0.3355——铝的电化学当量,单位为克每安培小时[g/(A·h)];

I ——电解槽通过的电流强度,单位为千安(kA);

η ——电流效率,单位为百分数(%)。

2.2.2 氧化铝消耗量

氧化铝消耗量见公式(3)。

$$P_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 0.634 I \eta \dots\dots\dots(3)$$

式中:

$P_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ ——氧化铝的消耗量,单位为千克每吨铝(kg/t-Al);

0.634——氧化铝的电化学当量,单位为克每安培小时[g/(A·h)]。

2.2.3 氧化铝理论单耗

氧化铝理论单耗为 1889.7 kg 每吨铝(kg/t-Al)。

2.2.4 碳的理论(最小)消耗量

碳理论单耗为 333.3 kg 每吨铝(kg/t-Al)。

2.2.5 碳生成 CO_2 和 CO 的电化学当量

碳生成 CO_2 的电化学当量为 0.112 g 每安培小时[g/(A·h)];

碳生成 CO 的电化学当量为 0.224 g 每安培小时[g/(A·h)]。

2.2.6 二氧化碳的生成量

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{或} \quad p_{\text{CO}_2} = \frac{3N}{1+N} \times \frac{44}{54} \\
 \text{或} \quad p'_{\text{CO}_2} = \frac{3}{4} \left(2 - \frac{1}{\eta} \right) \times \frac{44}{27} M
 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

p_{CO_2} ——1 千克铝二氧化碳生成量,单位为千克每千克铝(kg/kg-Al);

p'_{CO_2} ——1 小时二氧化碳生成量,单位为千克每小时(kg/h)。

2.2.7 一氧化碳生成量

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{或} \quad p_{\text{CO}} = \frac{3(1-N)}{1+N} \times \frac{44}{28} \\
 \text{或} \quad p'_{\text{CO}} = \frac{2}{3} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \times \frac{28}{27} M
 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

p_{CO} ——1 千克铝一氧化碳生成量,单位为千克每千克铝(kg/kg-Al);

p'_{CO} ——1 小时一氧化碳生成量,单位为千克每小时(kg/h)。

2.3 铝电解槽的电压平衡

2.3.1 四点进电铝电解槽的电压平衡按附录 A 的规定进行测试计算。

2.3.2 两点进电铝电解槽的电压平衡按附录 B 的规定进行测试计算。

2.3.3 将电解槽电压平衡测试与计算数据代入能量收入计算。

3 计算参数选择与测试项目

3.1 电流强度:为测试期间系列电流平均值。

3.2 电解温度:为测试期间每小时测试一次的电解质温度平均值。

3.3 发热电压:为体系电压。

3.4 电流效率:使用气体分析仪测定 CO、CO₂ 浓度,导出 N 值,按公式(6)计算电流效率。

$$\eta = \left(N \times \frac{1}{2} + 0.5 + 0.035 \right) \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

3.5 小时产铝量:由公式(2)计算求得。

3.6 环境温度:为测试期间厂房内每小时测试一次的室内温度平均值。

3.7 排烟管烟气温:在排烟管测定孔处插入温度计,每小时测量一次的烟气温度平均值。

3.8 CO、CO₂ 气体浓度测定方法:在槽 A 侧或 B 侧面处打一个直径约 $\phi 100$ mm 的孔,罩一个 $\phi 300$ mm~500 mm 的集气罩,用皮球接入漏斗接口处,用集气球排空几次集气,用气体分析仪测定 CO、CO₂ 气体浓度,利用压差原理测定烟气速度及动压、静压算出烟气流速折算烟气流量。

3.9 换出阳极重量:为清极后称量的换出阳极重量,单位为千克(kg)。

3.10 钢爪温度:测量换出阳极的钢爪温度值,单位为摄氏度(℃)。

3.11 换极时间:按实际换极时间计,单位为 min/块。

3.12 电解槽各部散热值:为槽壳、槽罩、阳极导杆、槽水平顶部、阴极钢棒头等的散热值。

4 测试仪表

4.1 热流计,测量范围 $0 \sim \pm 999.9 \text{ kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

4.2 气体分析仪。

4.3 数字万用表:精度 0.5。

4.4 流量测定仪。

4.5 数字温度显示仪:精度 $\pm 0.5\%$ 。

4.6 红外线测温仪。

5 能量平衡计算原则

5.1 能量平衡的计算原则:以环境温度为电解槽能量平衡计算的基础温度。

5.2 能量平衡的计算体系:槽底—槽壳—槽罩—阳极导杆—槽底(包括阴极钢棒头)。

5.3 建立体系模型,见图 1。

5.4 能量收入、支出计算以千焦每小时(kJ/h)为单位。

5.5 槽壳、槽罩、阳极导杆、水平顶部测试布点见图 2、图 3。

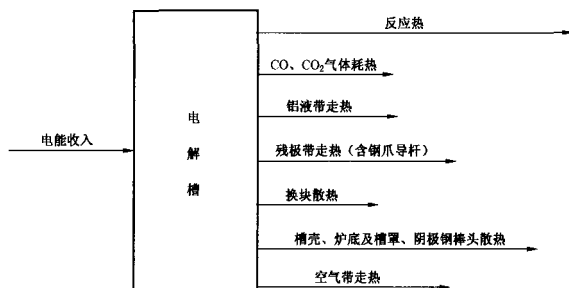


图 1 体系模型图

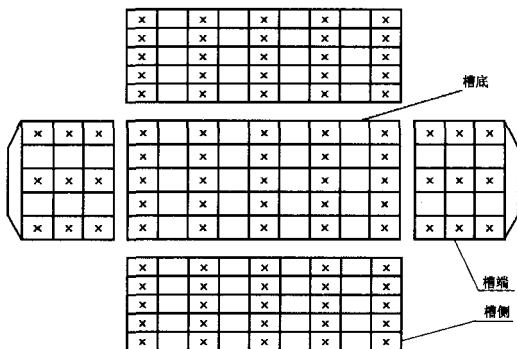


图 2 槽底、槽侧部测试分布点

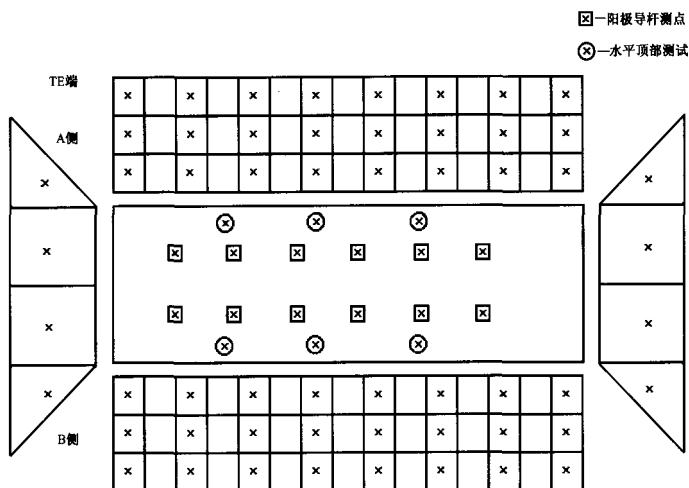


图3 槽罩、阳极导杆、水平顶部测试分布点

6 测试数据处理及计算公式

6.1 能量收入计算

能量收入计算见公式(7)。

$$Q_{\text{电能}} = 3\,600\, I E_{\text{体系内}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$Q_{\text{电能}}$ ——收入能量,单位为千焦每小时(kJ/h);

3 600——1 kW·h 能量换算单位,单位为千焦每千瓦小时[kJ/(kW·h)];

$E_{\text{体系内}}$ ——发热电压,单位为伏(V)。

6.2 能量支出计算

6.2.1 CO₂ 气体消耗热量

CO₂ 气体消耗热量见公式(8)。

$$Q_{\text{CO}_2} = n_{\text{CO}_2} \int_{T_1}^{T_{2\text{烟气}}} C_{\text{PCO}_2} dT \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

Q_{CO_2} ——CO₂ 气体消耗热量,单位为千焦每小时(kJ/h);

n_{CO_2} ——1 小时产生的 CO₂ 气体的物质的量,单位为千摩尔每小时(kmol/h);

T_1 ——环境绝对温度,单位为开尔文(K);

$T_{2\text{烟气}}$ ——烟气绝对温度,单位为开尔文(K);

C_{PCO_2} ——CO₂ 气体热容,单位为千焦每立方米摄氏度[kJ/(m³·℃)]。

6.2.2 CO 气体消耗热量

CO 气体消耗热量见公式(9)。

$$Q_{\text{CO}} = n_{\text{CO}} \int_{T_1}^{T_{2\text{烟气}}} C_{\text{PCO}} dT \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

Q_{CO} ——CO 气体消耗热量,单位为千焦每小时(kJ/h);

n_{CO} ——1 小时产生的 CO 气体的物质的量,单位为千摩尔每小时(kmol/h);

c_{FCO} ——CO 气体热容,单位为千焦每立方米摄氏度[kJ/(m³·℃)]。

6.2.3 CO、CO₂ 气体消耗热量

CO、CO₂ 气体消耗热量见公式(10)。

$$Q_{\text{CO,CO}_2} = Q_{\text{CO}} + Q_{\text{CO}_2} \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中:

$Q_{\text{CO,CO}_2}$ ——CO、CO₂ 气体消耗热量,单位为千焦每小时(kJ/h)。

6.2.4 每小时产生的 CO₂、CO 的物质的量

根据 $\text{Al}_2\text{O}_3 + x\text{C} = 2\text{Al} + y\text{CO}_2 + z\text{CO}$ 得出公式(11):

$$n_{\text{CO}_2} = y \cdot n_{\text{Al}}/2, n_{\text{CO}} = z \cdot n_{\text{Al}}/2 \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中:

n_{CO_2} ——每小时产生的 CO₂ 的物质的量,单位为千摩尔每小时(kmol/h);

n_{Al} ——每小时电解产铝的物质的量,单位为千摩尔每小时(kmol/h);

n_{CO} ——每小时产生的 CO 的物质的量,单位为千摩尔每小时(kmol/h)。

6.2.5 铝电解反应耗热

铝电解反应耗热按照公式(12)计算。

$$Q_{\text{反应}} = \frac{\Delta H_{298}^0}{2} \times n_{\text{Al}} \times 10^3 \quad \dots\dots\dots(12)$$

其中 ΔH_{298}^0 的计算见公式(13):

$$\Delta H_{298}^0 = [2 \Delta H_{298\text{AlK(固)}}^0 + y \Delta H_{298\text{CO}_2(\text{气})}^0 + z \Delta H_{298\text{CO(气)}}^0] - [\Delta H_{298\text{Al}_2\text{O}_3(\text{固})}^0 + x \Delta H_{298\text{C(固)}}^0] \quad \dots\dots\dots(13)$$

公式(13)中 25℃(298 K)时主要反应物质的反应热焓值为:

$$\Delta H_{298\text{AlK(固)}}^0 = 0;$$

$$\Delta H_{298\text{C(固)}}^0 = 0;$$

$$\Delta H_{298\text{CO(气)}}^0 = (-110.70 \text{ kJ/mol});$$

$$\Delta H_{298\text{Al}_2\text{O}_3(\text{固})}^0 = (-1678.74 \text{ kJ/mol});$$

$$\Delta H_{298\text{CO}_2(\text{气})}^0 = (-394.15 \text{ kJ/mol}).$$

6.3 铝液带走热

铝液带走热分为 3 部分,即 $Q_{\text{Al}} = Q_{\text{Al熔}} + Q_{\text{Al固}} + Q_{\text{Al液}}$, 其中:

$$Q_{\text{Al熔}} = \lambda M \quad \dots\dots\dots(14)$$

式中:

$Q_{\text{Al熔}}$ ——铝熔化带走热,单位为千焦每小时(kJ/h);

λ ——铝熔化热,其值为 397.33 kJ/kg。

$$Q_{\text{Al固}} = c_1 M \Delta t_1 \quad \dots\dots\dots(15)$$

式中:

$Q_{\text{Al固}}$ ——铝凝固带走热,单位为千焦每小时(kJ/h);

c_1 ——铝 20℃~675℃的平均比热,其值为 0.973 9 kJ/(kg·℃);

Δt_1 ——熔化温度与环境温度的差值,即 $\Delta t_1 = t_{\text{熔化温度}} - t_{\text{环境温度}}$,单位为摄氏度(℃)。

$$Q_{\text{Al液}} = c_2 M \Delta t_2 \quad \dots\dots\dots(16)$$

式中:

$Q_{\text{Al液}}$ ——铝液由电解温度降至凝固温度所带走的热量,单位为千焦每小时(kJ/h);

c_2 ——铝 800℃时的比热,其值为 1.078 9 kJ/(kg·℃);

Δt_2 ——电解温度与铝熔化温度的差值,即 $\Delta t_2 = t_{\text{电解温度}} - t_{\text{铝熔化温度}}$,单位为摄氏度(℃)。

6.4 残极带走热

残极带走热见公式(17)。

$$Q_{\text{残极}} = \frac{n}{D} \times c_{\text{残极}} \times m_{\text{残极}} (T_{2\text{残极}} - T_1) \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中:

$Q_{\text{残极}}$ ——残极带走热,单位为千焦每小时(kJ/h);

$\frac{n}{D}$ ——每小时换极数;

$c_{\text{残极}}$ ——残极比热,其值为 0.711 8 kJ/(kg·K);

$m_{\text{残极}}$ ——残极重量,单位为千克每小时(kg/h);

$T_{2\text{残极}}$ ——换块平均绝对温度,即 $T_{2\text{残极}} = \frac{\text{电解温度} + \text{残极温度}}{2}$,单位为开尔文(K);

6.5 钢爪带走热

钢爪带走热见公式(18)。

$$Q_{\text{钢爪}} = \frac{n}{D} \times c_{\text{钢爪}} \times m_{\text{钢爪}} (T_{2\text{钢爪}} - T_1) \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中:

$Q_{\text{钢爪}}$ ——钢爪带走热,单位为千焦每小时(kJ/h);

$c_{\text{钢爪}}$ ——钢爪比热,其值为 0.502 4 kJ/(kg·K);

$m_{\text{钢爪}}$ ——钢爪重量,单位为千克每块阳极(kg/块);

$T_{2\text{钢爪}}$ ——钢爪绝对温度,单位为开尔文(K)。

6.6 换极散热

6.6.1 对流散热

对流散热计算见公式(19)。

$$Q_{\text{对流}} = \alpha_{\text{对上部}} (t_2 - t_1) S \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中:

$Q_{\text{对流}}$ ——对流散热损失,单位为千焦每小时(kJ/h);

$\alpha_{\text{对上部}} = A_m (t_2 - t_1)^{1/3}$, $\alpha_{\text{对上部}} = 1.3 \alpha_{\text{对}}$;

A_m ——常数,与介质性质及计算温度 $t_{\text{计}}$ 有关,见图 4, $t_{\text{计}} = (t_2 - t_1)/2$,单位为摄氏度(°C);

$\alpha_{\text{对}}$ ——对流换热系数,单位为千焦每平方米小时摄氏度[kJ/(m²·h·°C)];

t_2 ——体系温度,单位为摄氏度(°C);

t_1 ——环境温度,单位为摄氏度(°C);

S ——给热面面积,即实际阳极底掌面积,单位为平方米(m²)。

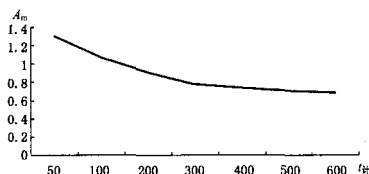


图 4 A_m 与 $t_{\text{计}}$ 关系曲线图

6.6.2 辐射散热

辐射散热计算见公式(20)。

$$Q_{\text{辐射}} = \varepsilon \cdot c_0 \cdot \varphi \cdot S \left[\left(\frac{T_{2\text{体系}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right] \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中:

$Q_{\text{辐射}}$ ——辐射散热损失,单位为千焦每小时(kJ/h);

ϵ ——散热面的黑度系数, $\epsilon=0.9$;

c_0 ——绝对黑体辐射系数, $c_0=20.7665 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}^4)$;

φ ——辐射角度系数, $\varphi=1.0$;

$T_{\text{体系}}$ ——体系绝对温度,单位为开尔文(K)。

6.6.3 换极散热

换极散热计算见公式(21)。

$$Q_{\text{换极}} = \frac{t}{60} \times \frac{n}{D} (Q_{\text{对置}} + Q_{\text{辐射}}) \quad \dots\dots\dots (21)$$

式中:

$Q_{\text{换极}}$ ——换极散热损失,单位为千焦每小时(kJ/h);

t ——每次换极所用时间,单位为分钟(m);

$\frac{n}{D}$ ——每小时换极数。

6.7 空气带走热

空气带走热见公式(22)。

$$Q_{\text{空}} = V_{\text{空}} \int_{T_1}^{T_{\text{槽气}}} C_p dT \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中:

$Q_{\text{空}}$ ——空气带走热,单位为千焦每小时(kJ/h);

C_p ——空气定压比容,查气体平均定压容积比热表,采用插入法求 C_p ;

$V_{\text{空}}$ ——每小时槽中空气流量,见公式(23),单位为立方米每小时(m^3/h)。

$$V_{\text{空}} = V_{\text{槽}} - V_{\text{CO,CO}_2} \quad \dots\dots\dots (23)$$

式中:

$V_{\text{槽}}$ ——电解槽气体流量,单位为立方米每小时(m^3/h)。

$V_{\text{CO,CO}_2}$ ——标准状态下 CO_2 、 CO 气体所占体积之和,见公式(24),单位为立方米每小时(m^3/h)。

$$V_{\text{CO,CO}_2} = V_{\text{CO}} + V_{\text{CO}_2} \quad \dots\dots\dots (24)$$

式中:

V_{CO_2} ——标准状态下 CO_2 气体所占体积,即 $V_{\text{CO}_2} = n_{\text{CO}_2} \times 22.4$,单位为立方米每小时(m^3/h);

V_{CO} ——标准状态下 CO 气体所占体积,即 $V_{\text{CO}} = n_{\text{CO}} \times 22.4$,单位为立方米每小时(m^3/h)。

6.8 电解槽散热

用热流计测出各测试点热流量,按公式(25)求出各部散热损失,再按公式(26)求和得电解槽散热总和。

$$Q_{\text{散}} = \sum q_i \times S_i \quad \dots\dots\dots (25)$$

式中:

$Q_{\text{散}}$ ——电解槽某部散热损失,单位为千焦每小时(kJ/h);

q_i ——测定部位的平均热流量,单位为千焦每平方米小时 [$\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$];

S_i ——测定部位面积,单位为平方米(m^2)。

$$Q_{\text{散总和}} = \sum Q_{\text{槽壳}} + \sum Q_{\text{导杆}} + \sum Q_{\text{槽罩}} + \sum Q_{\text{水平底部}} + \sum Q_{\text{阴极棒}} + \sum Q_{\text{炉底}} \quad \dots\dots\dots (26)$$

6.9 电解槽能量平衡表

电解槽能量平衡表见表1。

表 1 电解槽能量平衡表

能量收入 (kJ/h)	能量支出		
	项 目	各部位支出量/(kJ/h)	百分 数/(%)
$Q_{\text{电能}}$	反应热 $Q_{\text{反应}}$		
	CO、CO ₂ 气体耗热 $Q_{\text{CO,CO}_2}$		
	铝液带走热 Q_{Al}		
	残极带走热 $Q_{\text{残极}}$		
	钢爪带走热 $Q_{\text{钢爪}}$		
	换极散热 $Q_{\text{换极}}$		
	空气带走热 $Q_{\text{空}}$		
	电解槽各部散热 $Q_{\text{散}}$		
	其中:槽壳四周散热 $Q_{\text{槽壳四周}}$		
	炉底散热 $Q_{\text{炉底}}$		
	槽罩散热 $Q_{\text{槽罩}}$		
	水平顶部散热 $Q_{\text{水平顶部}}$		
	阳极导杆散热 $Q_{\text{阳极导杆}}$		
	阴极钢棒散热 $Q_{\text{阴极钢棒}}$		
	测试误差		
	能量支出合计 $Q_{\text{支出}}$		

7 铝电解槽能量平衡分析

7.1 能量利用率

7.1.1 有效能量:有效能量是指达到工艺要求时,理论上必须消耗的能量,铝电解的有效能量,即理论耗电率,是理论上生产单位质量金属铝所需要的电能,包括三部分:

- a) 分解 Al_2O_3 的能量;
- b) 加热 Al_2O_3 从常温到反应温度所需的能量;
- c) 加热 C 从常温到反应温度所需的能量。以上三项相加折合电能为 $6\,320\text{ kW}\cdot\text{h/t-Al}$ 。

7.1.2 收入能量:收入能量是外界向体系提供的电能。

7.1.3 能量利用率:能量利用率等于有效能量与供给能量的百分比。

7.2 能量平衡测试误差

能量平衡测试误差,应占供给能量总和的 $\pm 5\%$ 以内,即 $|(Q_{\text{支出}} - Q_{\text{电能}})/Q_{\text{电能}}| \times 100\% \leq 5\%$ 。

7.3 绘制铝电解槽能流图

根据各项支出占供给能量的百分数,绘制能流图。

7.4 能量利用率分析

通过能量平衡测试计算结果与同类先进槽型进行对比,分析各部位能量支出情况,指出提高能量利用率的改进意见,进一步提高能源科学管理水平,达到节约能源的目的。

附录 A (规范性附录)

四点进电预焙阳极铝电解槽电压平衡测试与计算方法

A.1 阳极母线压降

A.1.1 立柱母线压降

A.1.1.1 立柱母线是上台槽阴极水平大母线汇集部分,同时是下台槽进电电流的连接母线。此测定方法,分别在进电端槽大面处四根立柱大母线取全段测试,立柱母线压降分别记为 V_{A1} 、 V_{A2} 、 V_{A3} 、 V_{A4} ,取点测定方法见图 A.1。

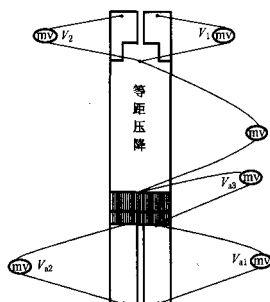


图 A.1 立柱母线压降测试示意图

A.1.1.2 数据处理方法

按照公式(A.1)分别计算 V_{A1} 、 V_{A2} 、 V_{A3} 、 V_{A4} ,再按公式(A.2)计算 $V_{\text{立柱}}$ 。

$$V_{A1} = \frac{(V_{a1})^2 + (V_{a2})^2}{V_{a1} + V_{a2}} + V_{A3} + V_{A1 \text{等距压降}} + \frac{V_1^2 + V_2^2}{V_1 + V_2}$$

$$\vdots$$

$$V_{A4} = \frac{(V_{a1})^2 + (V_{a2})^2}{V_{a1} + V_{a2}} + V_{A3} + V_{A4 \text{等距压降}} + \frac{V_1^2 + V_2^2}{V_1 + V_2} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

$$V_{\text{立柱}} = \frac{V_{A1} \times V_{A1 \text{等距压降}} + V_{A2} \times V_{A2 \text{等距压降}} + V_{A3} \times V_{A3 \text{等距压降}} + V_{A4} \times V_{A4 \text{等距压降}}, \dots\dots\dots (A.2)$$

$$\sum_{i=1}^{n=4} V_{Ai \text{等距压降}}$$

A.1.2 阳极软带母线压降

电解槽分为四点进电,进电侧为 A 侧,A 侧阳极横母线分别用软带母线与四根立柱大母线连接。

A.1.2.1 软带母线压降测定方法

阳极软带母线至阳极横母线之间的连接软带测定方法见图 A.2。

A.1.2.2 数据处理方法

按公式(A.3)计算 $V_{\text{软带母线}}$ 。

$$V_{\text{软带母线}} = \frac{V_{A1 \text{数}}^2 + V_{A2 \text{数}}^2 + V_{A3 \text{数}}^2 + V_{A4 \text{数}}^2}{V_{A1 \text{数}} + V_{A2 \text{数}} + V_{A3 \text{数}} + V_{A4 \text{数}}} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

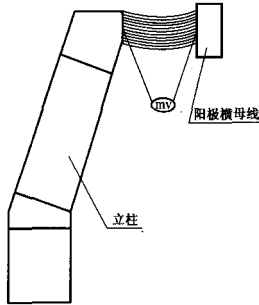


图 A.2 软带母线压降测试示意图

A. 1. 3 阳极横母线压降

A. 1. 3. 1 测定方法

电解槽分为 A、B 两个侧面, 进电端为 A 侧, 阳极横母线的测点位置分别记为 V_{A1} 、 V_{A2} 、 V_{A3} 、.....、 V_{Ai} , 出电端为 B 侧, 阳极横母线的测点位置分别记为 V_{B1} 、 V_{B2} 、 V_{B3} 、.....、 V_{Bi} , 其测定方法见图 A. 3。

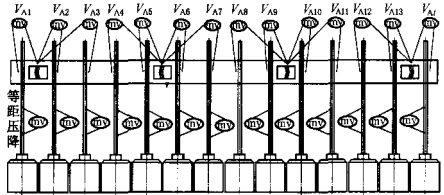


图 A. 3 阳极横母线测试图

A. 1. 3. 2 数据处理方法

按公式(A. 4) 计算 $V_{\text{阳极横母线}}$ 。

$$V_{\text{阳极横母线}} = \frac{\sum_{i=1}^n (V_{Ai} \text{等距压降} \times V_{Ai}) + \sum_{i=1}^n (V_{Bi} \text{等距压降} \times V_{Bi})}{\sum_{i=1}^n V_{Ai} \text{等距压降} + \sum_{i=1}^n V_{Bi} \text{等距压降}} \quad \text{.....(A. 4)}$$

A. 1. 4 阳极平衡母线压降

A. 1. 4. 1 阳极平衡母线是连接 A、B 面阳极横母线的连接母线, 测试方法见图 A. 4。

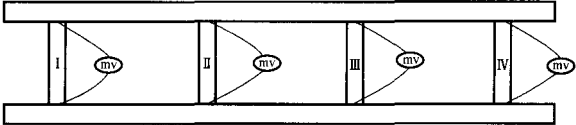


图 A. 4 阳极平衡母线测试示意图

A. 1. 4. 2 数据处理方法

按公式(A. 5) 计算 $V_{\text{平横母线}}$ 。

$$V_{\text{平衡母线}} = \frac{V_I^2 + V_{II}^2 + V_{III}^2 + V_{IV}^2}{V_I + V_{II} + V_{III} + V_{IV}} \times \frac{\sum_{i=1}^n V_{B_i \text{等距压降}}}{\sum_{i=1}^n V_{A_i \text{等距压降}} + \sum_{i=1}^n V_{B_i \text{等距压降}}} \dots\dots\dots (\text{A.5})$$

A.1.5 阳极母线压降

按公式(A.6) 计算 $V_{\text{阳极母线}}$ 。

$$V_{\text{阳极母线}} = V_{\text{立柱}} + V_{\text{秋带母线}} + V_{\text{阳极横母线}} + V_{\text{平衡母线}} \dots\dots\dots (\text{A.6})$$

A.2 阳极电压降

A.2.1 卡具压降

A.2.1.1 测定方法

卡具压降是阳极横母线与阳极导杆间的压降,测试方法见图 A.5,记作 $V_{A1}, V_{A2} \dots V_{Ai}, V_{B1}, V_{B2}, \dots, V_{Bi}$ 。

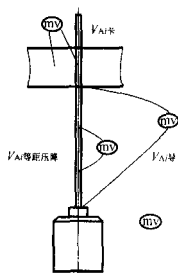


图 A.5 铝导杆压降测试示意图

A.2.1.2 数据处理方法

按公式(A.7) 计算 $V_{\text{卡具}}$ 。

$$V_{\text{卡具}} = \frac{\sum_{i=1}^n (V_{A_i \text{等距压降}} \times V_{A_i \text{卡}}) + \sum_{i=1}^n (V_{B_i \text{等距压降}} \times V_{B_i \text{卡}})}{\sum_{i=1}^n V_{A_i \text{等距压降}} + \sum_{i=1}^n V_{B_i \text{等距压降}}} \dots\dots\dots (\text{A.7})$$

A.2.2 铝导杆电压降

A.2.2.1 测定方法

依次测 A、B 两侧导杆电压降,测试值记作 $V_{A1 \text{导}}, V_{A2 \text{导}} \dots V_{Ai \text{导}}, V_{B1 \text{导}}, V_{B2 \text{导}} \dots V_{Bi \text{导}}$, 见图 A.5。

A.2.2.2 数据处理方法

按公式(A.8) 计算 $V_{\text{导杆}}$ 。

$$V_{\text{导杆}} = \frac{\sum_{i=1}^n (V_{A_i \text{等距压降}} \times V_{A_i \text{导}}) + \sum_{i=1}^n (V_{B_i \text{等距压降}} \times V_{B_i \text{导}})}{\sum_{i=1}^n V_{A_i \text{等距压降}} + \sum_{i=1}^n V_{B_i \text{等距压降}}} \dots\dots\dots (\text{A.8})$$

A.2.3 爆炸焊电压降

A.2.3.1 测定方法

依次测 A、B 两侧爆炸焊片压降,测试值记作 $V_{A1 \text{爆}}, V_{A2 \text{爆}} \dots V_{Ai \text{爆}}, V_{B1 \text{爆}}, V_{B2 \text{爆}} \dots V_{Bi \text{爆}}$, 见图 A.6。

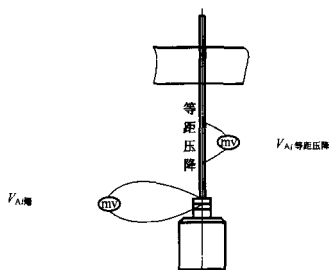


图 A.6 爆炸焊压降测试示意图

A.2.3.2 数据处理方法

按公式(A.9) 计算 $V_{\text{爆}}$ 。

$$V_{\text{爆}} = \frac{\sum_{i=1}^n (V_{A_i \text{等距压降}} \times V_{A_i \text{端}}) + \sum_{i=1}^n (V_{B_i \text{等距压降}} \times V_{B_i \text{端}})}{\sum_{i=1}^n V_{A_i \text{等距压降}} + \sum_{i=1}^n V_{B_i \text{等距压降}}} \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

A.2.4 钢爪电压降

A.2.4.1 阳极钢爪电压测定方法

依次测 V_{A1} 、 $V_{A2} \dots V_{Ai}$ ； V_{B1} 、 $V_{B2} \dots V_{Bj}$ 每块阳极的三个(或四个)钢爪压降, 阳极钢爪压降记作 $V_{A1爪}$ 、 $V_{A2爪} \dots V_{Ai爪}$, $V_{B1爪}$ 、 $V_{B2爪} \dots V_{Bj爪}$, 见图 A.7。

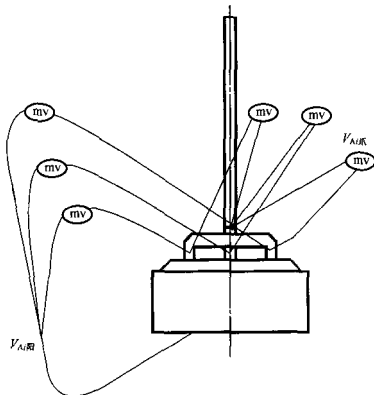


图 A.7 阳极钢爪、阳极碳块测试示意图

A.2.4.2 数据处理方法

先按公式(A.10)用算术平均计算每块阳极的 m 个钢爪(三个钢爪或四个钢爪)压降 $V_{A1爪}$, 然后按公式(A.11)用功率法计算 $V_{\text{钢爪}}$ 。

$$V_{A1爪} = (V_{A11爪} + V_{A12爪} + \dots + V_{A1m爪}) \div m \quad V_{B1爪} = (V_{B11爪} + V_{B12爪} + \dots + V_{B1m爪}) \div m$$

$$\vdots \quad \vdots$$

$$V_{Ai爪} = (V_{Ai1爪} + V_{Ai2爪} + \dots + V_{Aim爪}) \div m \quad V_{Bj爪} = (V_{Bj1爪} + V_{Bj2爪} + \dots + V_{Bjm爪}) \div m$$

$\dots\dots\dots (A.10)$

$$V_{\text{钢爪}} = \frac{\sum_{i=1}^n (V_{A_i \text{等距压降}} \times V_{A_i \text{爪}}) + \sum_{i=1}^n (V_{B_i \text{等距压降}} \times V_{B_i \text{爪}})}{\sum_{i=1}^n V_{A_i \text{等距压降}} + \sum_{i=1}^n V_{B_i \text{等距压降}}} \quad \text{..... (A. 11)}$$

A.2.5 阳极碳块电压降

A.2.5.1 测定方法

A.2.5.1.1 揭开炉盖,用多功能天车打测定洞。

A.2.5.1.2 测定 A、B 两侧阳极(28、30 或 32 块)。

A.2.5.1.3 测定棒一端插在阳极钢爪与碳块相切位置,另一端钩在阳极底表面上,见图 A.7。

A.2.5.2 数据处理方法

先按公式(A.12) $V_{A \text{阳}}$ 和 $V_{B \text{阳}}$ 然后按公式(A.13)计算 $V_{\text{阳}}$ 。

$$\begin{aligned} V_{A1 \text{阳}} &= (V_{A11 \text{阳}} + V_{A12 \text{阳}} + \cdots + V_{A1m \text{阳}}) \div m & V_{B1 \text{阳}} &= (V_{B11 \text{阳}} + V_{B12 \text{阳}} + \cdots + V_{B1m \text{阳}}) \div m \\ &\vdots & &\vdots \\ V_{Am \text{阳}} &= (V_{Am1 \text{阳}} + V_{Am2 \text{阳}} + \cdots + V_{Amn \text{阳}}) \div m & V_{Bm \text{阳}} &= (V_{Bm1 \text{阳}} + V_{Bm2 \text{阳}} + \cdots + V_{Bmn \text{阳}}) \div m \end{aligned} \quad \text{..... (A. 12)}$$

$$V_{\text{阳}} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{A_i \text{等距压降}} \times V_{A_i \text{阳}} + \sum_{i=1}^n V_{B_i \text{等距压降}} \times V_{B_i \text{阳}}}{\sum_{i=1}^n V_{A_i \text{等距压降}} + \sum_{i=1}^n V_{B_i \text{等距压降}}} \quad \text{..... (A. 13)}$$

A.2.6 阳极电压降

按公式(A.14) 计算 $V_{\text{阳极}}$ 。

$$V_{\text{阳极}} = V_{\text{卡具}} + V_{\text{导杆}} + V_{\text{罐}} + V_{\text{钢爪}} + V_{\text{阳}} \quad \text{..... (A. 14)}$$

A.3 炉底电压降

A.3.1 测定方法

在电解槽 A、B 侧各均匀取三个点的位置揭开相应的炉盖,用多功能天车打测定洞六个,见图 A.8。

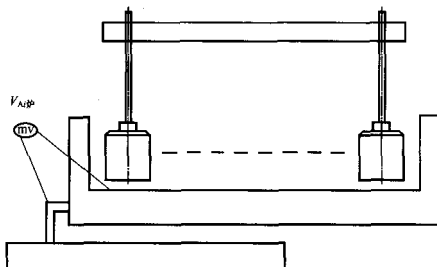


图 A.8 槽底压降测试示意图

A.3.2 数据处理方法

按公式(A.15) 计算 $V_{\text{炉底}}$ 。

$$V_{\text{炉底}} = \frac{\sum_{i=1}^{n=3} V_{A_i \text{炉底}} + \sum_{i=1}^{n=3} V_{B_i \text{炉底}}}{6} \quad \text{..... (A. 15)}$$

A.4 阴极母线电压降

A.4.1 阴极小软带电压降

A.4.1.1 测定方法

从阴极钢棒铝焊头至阴极水平母线为测点,见图 A.9。依次测 A、B 两侧电压降,压降值分别记作 $V_{A1\text{阴软}}、V_{A2\text{阴软}}\cdots V_{Ai\text{阴软}}、V_{B1\text{阴软}}、V_{B2\text{阴软}}\cdots V_{Bi\text{阴软}}$ 。

由于电解槽 A、B 两侧软母线配置不同,在处理软带压降时,实测软带压降值应乘以相应的电流分布修正系数 $k_{A1}、k_{A2}、k_{Ai}、\cdots k_{An}、k_{B1}、k_{B2}、k_{Bi}\cdots k_{Bn}$ 。

A.4.1.2 数据处理方法

按公式(A.16) 计算 $V_{\text{阴软带}}$ 。

$$V_{\text{阴软带}} = \frac{\sum_{i=1}^n (k_{Ai} \times V_{Ai}^2) + \sum_{i=1}^n (k_{Bi} \times V_{Bi}^2)}{\sum_{i=1}^n (k_{Ai} \times V_{Bi}) + \sum_{i=1}^n (k_{Bi} \times V_{Ai})} \cdots \cdots \cdots (A.16)$$

A.4.2 阴极连接母线电压降

A.4.2.1 测定方法

在下台槽立柱大母线与测试槽阴极母线焊接汇聚处为一端测试点,另一端测试点依次在 A 面、B 面阴极软带与阴极母线焊接处取测试点。从 TE 端至 DE 端的四根立柱母线对应连接的阴极母线与阴极软带焊接处跨接测试表,A 面阴极母线依次取点记为 $V_{a1}、V_{a2}\cdots V_{ai}$,B 面阴极母线依次取点记为 $V_{b1}、V_{b2}\cdots V_{bi}$;测试取点见图 A.9。

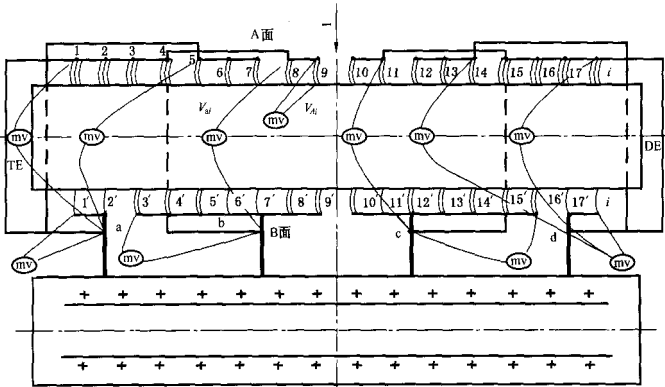


图 A.9 软极软带及阴极连接母线压降测试示意图

A.4.2.2 数据处理方法

按公式(A.17) 计算 $V_{\text{阴连接}}$ 。

$$V_{\text{阴连接}} = \frac{\sum_{i=1}^n (k_{Ai} \times V_{Ai} \times V_{ai}) + \sum_{i=1}^n (k_{Bi} \times V_{Bi} \times V_{bi})}{\sum_{i=1}^n (k_{Ai} \times V_{Bi}) + \sum_{i=1}^n (k_{Bi} \times V_{Ai})} \cdots \cdots \cdots (A.17)$$

A.4.3 阴极母线电压降

按公式(A.18) 计算 $V_{\text{阴连接}}$ 。

$$V_{\text{阴连母线}} = V_{\text{阴连接}} + V_{\text{阴散带}} \dots\dots\dots (A.18)$$

A.5 效应电压

按公式(A.19) 计算 $V_{\text{效应}}$ 。

$$V_{\text{效应}} = \frac{n \cdot (V_{\text{效}} - V_{\text{工}}) \cdot t}{1440} \dots\dots\dots (A.19)$$

式中:

n ——效应系数,单位为次/(槽·日);

$V_{\text{工}}$ ——槽工作电压,单位为伏(V);

$V_{\text{效}}$ ——效应发生时电压,单位为伏(V);

t ——效应持续时间,单位为分(m)。

A.6 极间电压

极间电压由电解质电压和反电动势两部分组成,通常在实际测量中,难以测到反电动势。对于预焙阳极电解槽,阳极块数多,阳极底部难以保持在同一平面,故电解质压降亦难以测到精确值。为此,要测到精确值,只有采用短路法。在实际测量中可采用反减法或“电压—极距法”。

A.6.1 短路法

A.6.1.1 确定进行电压平衡的电解槽,要求炉膛比较大,规整。

A.6.1.2 测定步骤

A.6.1.2.1 阳极母线电压降、阳极电压降、槽底电压降、阴极母线电压降测定完毕之后,测电解质电压和反电动势。

A.6.1.2.2 先与计算机联系,打印该槽状态表,确定当时槽电压记作 V_1 。确认当时回转计数值为 m_1 , (回转计数值在现场观察记录),通知计算机室将该槽短路,当阳极全部浸入铝液中为止。再通知计算机室立即打印槽状态表,该槽电压为 V_2 ,回转计数值为 m_2 。

$$\text{即: } V_1 - V_2 = V_{\text{极间}} = V_{\text{电解质}} + V_{\text{极化}} \dots\dots\dots (A.20)$$

$$V_{\text{槽电压}} = V_{\text{距极母线}} + V_{\text{阳极}} + V_{\text{炉底}} + V_{\text{阴极母线}} + V_{\text{电解质}} + V_{\text{极化}} \dots\dots\dots (A.21)$$

A.6.2 反减法

将阳极母线电压降、阳极电压降、槽底电压降、阴极母线电压降测定完之后,通过数据处理,用测试期槽平均电压减去已知测试计算的槽各部压降,按公式(A.22) 求极间电压。

$$V_{\text{极间}} = V_{\text{槽平均}} - (V_{\text{阳极母线}} + V_{\text{阳极}} + V_{\text{炉底}} + V_{\text{阴极母线}} + V_{\text{效应}}) \dots\dots\dots (A.22)$$

A.6.3 “电压—极距”法

极间电压由电解质压降和反电动势两部分组成。

A.6.3.1 电解质压降

电解质压降采用“电压—极距法”进行测量,测量时先升阳极三次,每次 5 mm,然后分三次降阳极回原位,记录每次升降阳极的槽电压及有关数据,同时用极距测定棒测量槽极距,利用测量结果计算出电解质电压降。

A.6.3.2 反电动势

反电动势只能在停电时测量,为避免停电中测量反电动势造成的槽况波动,一般情况下,其值按经验值取定。

A.7 四点进电预焙阳极铝电解槽电压平衡情况(见表 A.1)

表 A.1 四点进电预焙阳极铝电解槽电压平衡表

项 目		电压降/mV	占总电压百分数/(%)
一阳极母线	1. 立柱		
	2. 阳极软带		
	3. 阳极横母线		
	4. 阳极平衡母线		
	小计		
二阳极	1. 卡 具		
	2. 铝导杆		
	3. 爆炸焊		
	4. 钢爪		
	5. 阳极碳块		
	小计		
三	极间		
四	阴极		
五阴极母线	1. 阴极软带		
	2. 阴极连接		
	小计		
效应电压分摊			
总计			
瞬时槽电压			
误差(%)			
电流(A)			
测量时间			
槽 龄			

附 录 B

(规范性附录)

两点进电预焙阳极铝电解槽电压平衡测试与计算方法

B.1 阳极母线压降

B.1.1 立柱母线压降

B.1.1.1 氩弧焊压降测定方法

氩弧焊母线是立柱母线与阴极水平大母线汇聚部分。分别在 TE(出铝端)、DE(烟道端)两端立柱母线氩弧焊接母线中点内外两点测定,氩弧焊压降分别记为 V_{Ti} 、 V_{Ti} 、 V_{Di} 、 V_{Di} ,取点测试方法见图 B.1。

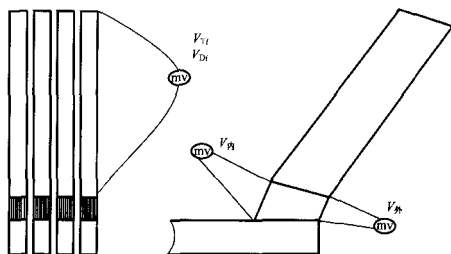


图 B.1 立柱母线及压弧焊母线压降测试示意图

B.1.1.2 立柱母线压降测定方法

全段测定立柱母线压降,取立柱母线端点为测点,TE 端分别记为 V_{T1} 、 V_{T2} ... V_{Ti} ;DE 端分别记为 V_{D1} 、 V_{D2} ... V_{Di} ,见图 B.1。

B.1.1.3 数据处理方法

$$V_T = \frac{\sum_{i=1}^n (V_{Ti})^2}{\sum_{i=1}^n V_{Ti}} + \frac{V_{Ti} + V_{Ti}}{2} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

$$V_D = \frac{\sum_{i=1}^n (V_{Di})^2}{\sum_{i=1}^n V_{Di}} + \frac{V_{Di} + V_{Di}}{2} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

$$V_{\text{立柱}} = \frac{V_T^2 + V_D^2}{V_T + V_D} \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

B.1.2 端横母线压接压降

B.1.2.1 测定方法

端横母线压接压降分为 TE 端和 DE 端,测试取点见图 B.2,TE 端测试值记为 V_{Ta} 、 V_{Tb} 、 V_{Tc} 、 V_{Td} 、 V_{Te} 、 V_{Tf} ;DE 端测试值记为 V_{Da} 、 V_{Db} 、 V_{Dc} 、 V_{Dd} 、 V_{De} 、 V_{Df} 。连接立柱线线的三角块压降记为 V_{Ts} 、 V_{Ds} 。

B.1.2.2 数据处理方法

$$V_{\text{端横}} = V_{Ts} + \frac{V_{Ta} + V_{Tb} + V_{Tc} + V_{Td} + V_{Te} + V_{Tf}}{6} \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

$$V_{D\text{端横}} = V_{D\text{e}} + \frac{V_{D\text{a}} + V_{D\text{b}} + V_{D\text{c}} + V_{D\text{d}} + V_{D\text{e}} + V_{D\text{f}}}{6} \dots\dots\dots (\text{B.5})$$

$$V_{\text{端横}} = \frac{(V_{T\text{端横}})^2 + (V_{D\text{端横}})^2}{V_{T\text{端横}} + V_{D\text{端横}}} \dots\dots\dots (\text{B.6})$$

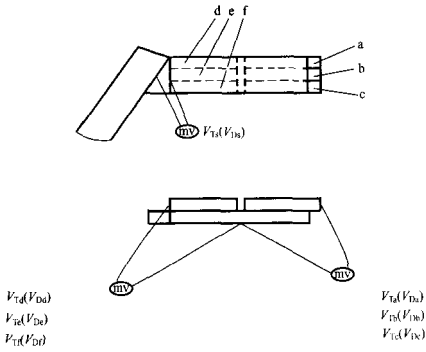


图 B.2 端横母线压接压降示意图

B.1.3 阳极软带母线电压降

电流由 A、B 侧的四组阳极软带母线汇入阳极横母线。

B.1.3.1 测定方法

阳极软带母线压降测试取点见图 B.3。A 侧 TE 端软母线压降测试值分别记为 V_{AT1} 、 V_{AT2} 、 V_{AT3} ，DE 端软母线压降测试值分别记为 V_{AD1} 、 V_{AD2} 、 V_{AD3} ，B 侧 TE 端软母线压降测试值分别记为 V_{BT1} 、 V_{BT2} 、 V_{BT3} ，DE 端软母线压降测试值分别记为 V_{BD1} 、 V_{BD2} 、 V_{BD3} 。

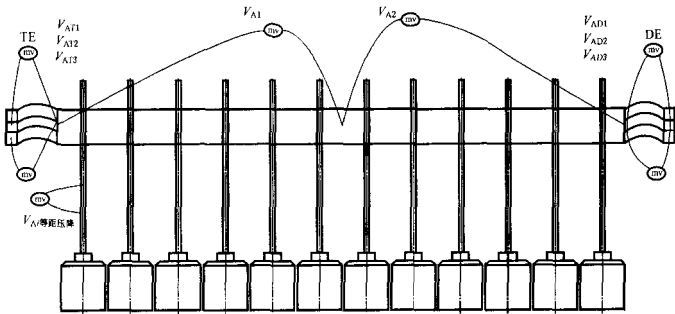


图 B.3 阳极横母线测试示意图

B.1.3.2 数据处理方法

$$V_{AT} = \frac{V_{AT1} + V_{AT2} + V_{AT3}}{3} \dots\dots\dots (\text{B.7})$$

$$V_{AD} = \frac{V_{AD1} + V_{AD2} + V_{AD3}}{3} \dots\dots\dots (\text{B.8})$$

$$V_{BT} = \frac{V_{BT1} + V_{BT2} + V_{BT3}}{3} \dots\dots\dots (\text{B.9})$$

$$V_{BD} = \frac{V_{BD1} + V_{BD2} + V_{BD3}}{3} \quad \text{..... (B. 10)}$$

$$V_{\text{卡}} = \frac{V_{AT}^2 + V_{AD}^2 + V_{BT}^2 + V_{BD}^2}{V_{AT} + V_{AD} + V_{BT} + V_{BD}} \quad \text{..... (B. 11)}$$

B.1.4 阳极横母线电压降

B.1.4.1 测定方法

电解槽分为 A、B 两个侧面，A 侧阳极横母线电压降值记为 V_{A1} 、 V_{A2} ，B 侧阳极横母线电压降值记为 V_{B1} 、 V_{B2} 。测定方法见图 B.3。

B.1.4.2 数据处理方法

$$V_{\text{阳极横母线}} = \frac{V_{A1}^2 + V_{A2}^2 + V_{B1}^2 + V_{B2}^2}{V_{A1} + V_{A2} + V_{B1} + V_{B2}} \quad \text{..... (B. 12)}$$

B.1.5 阳极母线电压降

$$V_{\text{阳母}} = V_{\text{立柱}} + V_{\text{端横}} + V_{\text{卡}} + V_{\text{阳极横母线}} \quad \text{..... (B. 13)}$$

B.2 阳极电压降

B.2.1 卡具电压降

B.2.1.1 测定方法

卡具电压降是阳极横母线与阳极导杆间的电压降，测试方法见图 B.4，记作 V_{A1} 、 $V_{A2} \cdots V_{Ai}$ ， V_{B1} 、 $V_{B2} \cdots V_{Bi}$ 。

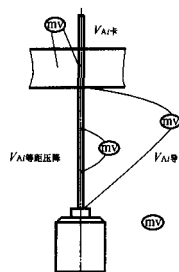


图 B.4 铝导杆电压降测试示意图

B.2.1.2 数据处理方法

$$V_{\text{卡具}} = \frac{\sum_{i=1}^n (V_{Ai\text{等距电压降}} \times V_{Ai\text{卡}}) + \sum_{i=1}^n (V_{Bi\text{等距电压降}} \times V_{Bi\text{卡}})}{\sum_{i=1}^n V_{Ai\text{等距电压降}} + \sum_{i=1}^n V_{Bi\text{等距电压降}}} \quad \text{..... (B. 14)}$$

B.2.2 铝导杆电压降

B.2.2.1 测定方法

依次测 A、B 两侧导杆电压降，测试值分别记作 $V_{A1\text{导}}$ 、 $V_{A2\text{导}} \cdots V_{Ai\text{导}}$ ； $V_{B1\text{导}}$ 、 $V_{B2\text{导}} \cdots V_{Bi\text{导}}$ ，测定方法见图 B.4。

B.2.2.2 数据处理方法

$$V_{\text{导杆}} = \frac{\sum_{i=1}^n (V_{Ai\text{等距电压降}} \times V_{Ai\text{导}}) + \sum_{i=1}^n (V_{Bi\text{等距电压降}} \times V_{Bi\text{导}})}{\sum_{i=1}^n V_{Ai\text{等距电压降}} + \sum_{i=1}^n V_{Bi\text{等距电压降}}} \quad \text{..... (B. 15)}$$

B.2.3 爆炸焊电压降

B.2.3.1 测定方法

依次测 A、B 两侧爆炸焊片压降，测试值记作 $V_{A1\text{爆}}、V_{A2\text{爆}} \cdots V_{Ai\text{爆}}、V_{B1\text{爆}}、V_{B2\text{爆}} \cdots V_{Bi\text{爆}}$ ，测定方法见图 B.5。

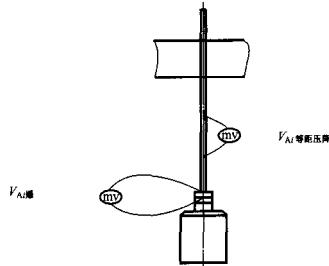


图 B.5 爆炸焊压降测试示意图

B.2.3.2 数据处理方法

$$V_{\text{爆}} = \frac{\sum_{i=1}^n (V_{Ai\text{等距压降}} \times V_{Ai\text{爆}}) + \sum_{i=1}^n (V_{Bi\text{等距压降}} \times V_{Bi\text{爆}})}{\sum_{i=1}^n V_{Ai\text{等距压降}} + \sum_{i=1}^n V_{Bi\text{等距压降}}} \quad \cdots \cdots \cdots (\text{B.16})$$

B.2.4 钢爪电压降

B.2.4.1 测定方法

依次测 A、B 两侧每块阳极的 m 个钢爪(三个钢爪或四个钢爪)压降，阳极钢爪压降记作 $V_{A1\text{爪}}、V_{A2\text{爪}} \cdots V_{Ai\text{爪}}、V_{B1\text{爪}}、V_{B2\text{爪}} \cdots V_{Bi\text{爪}}$ ，见图 B.6。

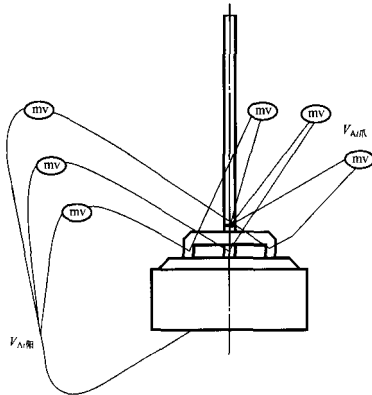


图 B.6 阳极钢爪、阳极碳块测试示意图

B.2.4.2 数据处理方法

先用算术平均计算每块阳极的 m 个钢爪(三个钢爪或四个钢爪)压降，再用功率法计算。

$$\begin{aligned}
 V_{A1系} &= (V_{A11系} + V_{A12系} + \cdots + V_{A1m系}) \div m & V_{B1系} &= (V_{B11系} + V_{B12系} + \cdots + V_{B1m系}) \div m \\
 &\vdots & &\vdots \\
 V_{Ai系} &= (V_{Ai1系} + V_{Ai2系} + \cdots + V_{Aim系}) \div m & V_{Bi系} &= (V_{Bi1系} + V_{Bi2系} + \cdots + V_{Bim系}) \div m \\
 &&&\cdots \cdots \cdots (B.17)
 \end{aligned}$$

$$V_{测爪} = \frac{\sum_{i=1}^n (V_{Ai等距压降} \times V_{Ai系}) + \sum_{i=1}^n (V_{Bi等距压降} \times V_{Bi系})}{\sum_{i=1}^n V_{Ai等距压降} + \sum_{i=1}^n V_{Bi等距压降}} \quad \cdots \cdots \cdots (B.18)$$

B.2.5 阳极碳块电压降

B.2.5.1 测定方法

B.2.5.1.1 揭开炉盖,用多功能天车打测定洞。

B.2.5.1.2 测定 A、B 两侧阳极,测定棒一端插在阳极钢爪与碳块相切位置,另一端钩在阳极底表面上,阳极碳压降记作 $V_{A1阳} \cdots \cdots V_{An阳}, V_{B1阳} \cdots \cdots V_{Bn阳}$,测定方法见图 B.6。

B.2.5.2 数据处理方法

$$\begin{aligned}
 V_{A1阳} &= (V_{A11阳} + V_{A12阳} + \cdots + V_{A1m阳}) \div m & V_{B1阳} &= (V_{B11阳} + V_{B12阳} + \cdots + V_{B1m阳}) \div m \\
 &\vdots & &\vdots \\
 V_{An阳} &= (V_{An1阳} + V_{An2阳} + \cdots + V_{Anm阳}) \div m & V_{Bn阳} &= (V_{Bn1阳} + V_{Bn2阳} + \cdots + V_{Bnm阳}) \div m \\
 &&&\cdots \cdots \cdots (B.19)
 \end{aligned}$$

$$V_{阳} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{Ai等距压降} \times V_{Ai阳} + \sum_{i=1}^n V_{Bi等距压降} \times V_{Bi阳}}{\sum_{i=1}^n V_{Ai等距压降} + \sum_{i=1}^n V_{Bi等距压降}} \quad \cdots \cdots \cdots (B.20)$$

B.2.6 阳极电压降

$$V_{阳极} = V_{卡具} + V_{导杆} + V_{垫} + V_{钢爪} + V_{阳} \quad \cdots \cdots \cdots (B.21)$$

B.3 炉底电压降

B.3.1 测定方法

揭开炉盖在电解槽 A、B 侧均匀取 n 个点,用多功能天车打测定洞 n 个,测试法记作 $V_{A1炉} \cdots \cdots V_{An炉}, V_{B1炉} \cdots \cdots V_{Bn炉}$,测定方法见图 B.7。

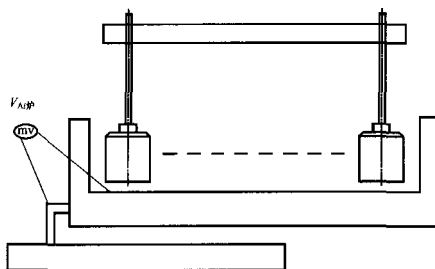


图 B.7 炉底压降测试示意图

B.3.2 数据处理方法

$$V_{炉底} = \frac{\sum_{i=1}^{n=3} V_{Ai炉} + \sum_{i=1}^{n=3} V_{Bi炉}}{6} \quad \cdots \cdots \cdots (B.22)$$

B.4 阴极母线电压降

B.4.1 阴极小软带电压降

B.4.1.1 测定方法

从阴极钢棒铝焊头至阴极水平母线为测点,见图 B.8。从 TE 端至 DE 端依次测 A、B 两侧阴小软带电压降,压降值分别记作 $V_{A1}, V_{A2} \dots V_{Ai}, V_{B1}, V_{B2} \dots V_{Bi}$ 。

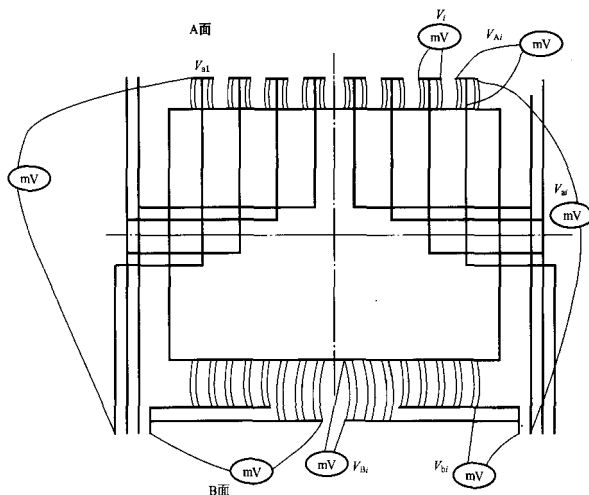


图 B.8 阴极软带及阴极连接母线测试示意图

B.4.1.2 数据处理方法

由于电解槽阴极 A、B 两侧软带母线配置不同,在处理该压降时,实测值应乘以相应的电流分布修正系数 $k_{A1}, k_{A2} \dots k_{Ai}; k_{B1}, k_{B2} \dots k_{Bi}$ 。

$$V_{\text{阴软带}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{Ai} \times V_{Ai}^2 + \sum_{i=1}^n K_{Bi} \times V_{Bi}^2}{\sum_{i=1}^n K_{Ai} \times V_{Ai} + \sum_{i=1}^n K_{Bi} \times V_{Bi}} \quad \dots\dots\dots (\text{B. 23})$$

注: 160 KA 电解槽,阴极软带在设计中 A_1 至 $A_{10}, B_3, B_4, B_5, B_{12}, B_{13}, B_{14}$ 电流分布修正系数为 1; B_1, B_2, B_{15}, B_{16} 电流分布修正系数为 0.2; B_6 至 B_{11} 电流分布修正系数为 0.8。

B.4.2 阴极 A 侧水平段母线电压降

B.4.2.1 测定方法

从 TE 端至 DE 端,依次测 A 侧各段阴极水平母线电压降,见图 B.8,压降值分别记作 $V_1, V_2 \dots V_i$ 。

B.4.2.2 数据处理方法

$$V_{\text{水平}} = \frac{\sum_{i=1,4,5,8,9,12,13,16}^8 V_{Ai} \times \sum_{i=1}^8 V_{\text{水平}}}{\sum_{i=1}^{16} K_{Ai} V_{Ai} + \sum_{i=1}^{16} K_{Bi} V_{Bi}} \quad \dots\dots\dots (\text{B. 24})$$

B.4.3 阴极连接母线电压降

B.4.3.1 测定方法

从 TE 端至 DE 端,依次测 A 侧各段连接母线压降值,见图 B.8,分别记作 $V_{a1}, V_{a2} \dots V_{ai}$ 。再依次测

B 侧连接母线压降,分别赢余 V_{b1} 、 V_{b2} ... V_{bi} 。

B.4.3.2 数据处理方法

$$V_{\text{阴连接}} = \frac{(V_{A1} + V_{A2})V_{a1} + \dots + (V_{A15} + V_{A16})V_{a8} + \sum_{i=1}^n K_{Bi} \times V_{Bi} \times V_{bi}}{\sum_{i=1}^n KV_{Ai} \times V_{Ai} + \sum_{i=1}^n K_{Bi} \times V_{Bi}} \quad \dots\dots\dots(\text{B.25})$$

B.4.4 阴极母线电压降

$$V_{\text{阴极母线}} = V_{\text{阴极带}} + V_{A\text{水平}} + V_{\text{阴连接}} \quad \dots\dots\dots(\text{B.26})$$

B.5 效应电压

$$V_{\text{效应}} = \frac{n(V_{\text{效}} - V_{\text{工}})t}{1\,440} \quad \dots\dots\dots(\text{B.27})$$

式中:

n ——效应系数,单位为次/槽·日;

$V_{\text{工}}$ ——槽工作电压,单位为伏(V);

$V_{\text{效}}$ ——效应发生时电压,单位为伏(V);

t ——效应持续时间,单位为分(min)。

B.6 极间电压

极间电压由电解质电压和反电动势两部分组成,通常在实际测量中,难以测到反电动势。对于预焙阳极电解槽,阳极块数多,阳极底部难以保持在同一平面,故电解质压降亦难以测到精确值。为此,要测到精确值,只有采用短路法。在实际测量中可采用反减法或“电压一极距法”。

B.6.1 短路法

B.6.1.1 确定进行电压平衡的电解槽,要求炉膛比较大,规整。

B.6.1.2 测定步骤

B.6.1.2.1 阳极母线电压降、阳极电压降、槽底电压降、阴极母线电压降测定完毕之后,测电解质电压和反电动势。

B.6.1.2.2 先与计算机联系,打印该槽状态表,确定当时槽电压记作 V_1 。确认当时回转计数值为 m_1 , (回转计数值在现场观察记录),通知计算机室将该槽短路,当阳极全部浸入铝液中为止。再通知计算机室立即打印槽状态表,该槽电压为 V_2 ,回转计数值为 m_2 。

$$\text{即: } V_1 - V_2 = V_{\text{极间}} = V_{\text{电解质}} + V_{\text{极化}} \quad \dots\dots\dots(\text{B.28})$$

$$V_{\text{槽电压}} = V_{\text{阳极母线}} + V_{\text{阳极}} + V_{\text{炉底}} + V_{\text{阴极母线}} + V_{\text{电解质}} + V_{\text{极化}} \quad \dots\dots\dots(\text{B.29})$$

B.6.2 反减法

将阳极母线电压降、阳极电压降、槽底电压降、阴极母线电压降测定完之后,通过数据处理,用测试期槽平均电压减去已知测试计算的槽各部压降,求极间电压。

$$V_{\text{极间}} = V_{\text{槽平均}} - (V_{\text{阴极母线}} + V_{\text{阳极}} + V_{\text{炉底}} + V_{\text{阳极母线}} + V_{\text{效应}}) \quad \dots\dots\dots(\text{B.30})$$

B.6.3 “电压一极距”法

极间电压由电解质压降和反电动势两部分组成。

B.6.3.1 电解质压降

电解质压降采用“电压一极距法”进行测量,测量时先升阳极三次,每次 5 mm,然后分三次降阳极回原位,记录每次升降阳极的槽电压及有关数据,同时用极距测定棒测量槽极距值,利用测量结果计算

出电解质电压降。

B.6.3.2 反电动势

反电动势只能在停电时测量,为避免停电中测量反电动势造成的情况波动,一般情况下,其值按经验值取定。

B.7 两点进电预焙阳极铝电解槽电压平衡表

两点进电预焙阳极铝电解槽电压平衡情况见表 B.1。

表 B.1 两点进电预焙阳极铝电解槽电压平衡表

	项 目	电压降/mV	占总电压百分数/(%)
一阳极母线	1. 立柱		
	2. 阳极端横母线		
	3. 阳极软带		
	4. 阳极横母线		
	小计		
二阳极	1. 卡具		
	2. 铝导杆		
	3. 爆炸焊		
	4. 钢爪		
	5. 阳极碳块		
	小计		
三	极间		
四	阴极		
五阴极母线	1. 阴极软带		
	2. 阴极连接		
	小计		
效应电压分摊			
总计			
瞬时槽电压			
误差(%)			
电流(A)			
测量时间			
槽龄			