

文章编号:1000-582x(2001)02-0100-03

铝电解预焙槽高温气体焙烧启动的加热制度

张 力¹, 伍成波², 潘良明¹, 冉景煜¹,
唐 骞³, 殷恩生³, 刘永刚³, 杨元旭³

(1. 重庆大学 动力工程学院, 重庆 400044;
2. 重庆大学 材料科学与工程学院, 重庆 400044; 3. 平果铝业公司, 广西 531400)

摘 要: 针对电解预焙槽气体焙烧法启动这一新的工艺方法, 利用电解槽槽底导热的三维数学模型, 研究不同加热制度下, 升温速度、阴极内部温差、供热强度等随时间的变化; 讨论了不同加热制度下的加热时间、燃料消耗和槽内温度分布的变化, 并对各种加热制度进行了比较优化得出可供实施的加热制度, 给出了一种最优加热制度。该研究为制定电解槽气体焙烧启动的加热制度提供了理论依据。

关键词: 铝电解预焙槽; 气体焙烧; 加热制度

中图分类号: TK 16; TF 806.1

文献标识码: A

在铝电解预焙槽启动之前需要对其阴极进行焙烧, 减小启动时的热应力以及可能对槽体的损害, 从而延长铝电解预焙槽的使用寿命。

在电解铝生产中, 铝电解预焙槽启动一般采用铝液焙烧和焦粉焙烧。这两种方法在焙烧时易使阴极断面产生大温度梯度, 会导致温度均匀性差及局部过热等, 对预焙槽的寿命有不利的影响^[1~3]。

根据铝电解预焙槽启动时的工艺要求, 采用专用燃烧装置将燃料完全燃烧, 其产生的高温气体焙烧加热预焙槽, 可以最大限度地控制阴极的加热速度及温度分布。实验研究表明, 高温气体焙烧时的温度分布较均匀、升温速度易调控, 加热终了时的断面温差可控制在150℃以内, 表面温差 < 150℃, 对延长预焙槽的使用寿命是有益的。

本文通过预焙槽槽底传热的数学模型分析, 从理论上探讨加热制度对升温速度、温度分布的影响, 为铝

电解预焙槽气体焙烧的供热制度及负荷调节提供理论依据。

1 计算原理

1.1 原始条件及基本方程

研究对象为某160 KA铝电解预焙槽。槽底尺寸为9.8×4.0×0.78 m, 电解槽槽底结构及尺寸、物性参数如表1所示。

电解槽槽底的传热属于固体三维不定态导热, 基本方程为:

$$\frac{\partial(\rho T)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\lambda}{C_p} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\lambda}{C_p} \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\lambda}{C_p} \frac{\partial T}{\partial z} \right) + S$$

S—源项, 在本计算中, 主要考虑为阴极扎糊的水分及挥发份蒸发而吸收的热。

表1 电解槽槽底尺寸及物性参数

名称	材质	S(mm)	$\lambda(W/m \cdot ^\circ C)$	$C_p(kJ/kg \cdot ^\circ C)$	$\rho(kg/m^3)$
第1层	阴极	450	$3.14 + 4.86 \times 10^{-3}t$	0.836	1 500
第2层	粘土砖	120	$0.84 + 0.58 \times 10^{-3}t$	$0.879 + 0.23 \times 10^{-3}t$	2 100
第3层	NG-0.8	150	$0.22 + 0.426 \times 10^{-3}t$	$0.837 + 0.264 \times 10^{-3}t$	800
第4层	微孔硅酸钙板	60	$0.052 + 0.29 \times 10^{-3}t$	$0.836 + 0.26 \times 10^{-3}t$	220

收稿日期:2000-10-16

作者简介:张力(1956-),男,四川万县人,重庆大学教授。主要从事热能工程、燃烧科学及能源环保等领域的教学与研究。

1.2 边界条件

阴极上表面传热的边界条件按第三类边界条件处理^[4],即

$$\sigma_{\Sigma 1}(T_f - T_w) = -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial s} \right)_{s=0}$$

T_f —加热气体的温度, $T_f = f(t)$;

$\alpha_{\Sigma 1}$ —电解槽内腔的综合传热系数, $\alpha_{\Sigma 1} = \alpha_c + \alpha_r$;

α_r —辐射传热系数, $W/m^2 \cdot ^\circ C$

α_c —对流传热系数, 考虑为辐射传热系数的 15%。

侧面及底面传热的边界条件仍按第三类边界条件处理,即

$$\sigma_{\Sigma 2}(T_w - T_0) = -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial s} \right)_{s=0}$$

T_0 —电解槽侧面或底面的环境温度;

$\alpha_{\Sigma 2}$ —综合传热系数, 根据 T_w 的值, 由经验公式确定。

1.3 计算工况

用上述传热模型计算了六种加热制度, 分别为:

制度 1: $t \leq 16$ h, $T_f = 423 + 50t$ K; $t > 16$ h,

$T_f = 1233$ K;

制度 2: $t \leq 20$ h, $T_f = 423 + 40t$ K; $t > 20$ h,

$T_f = 1233$ K;

制度 3: $t \leq 27$ h, $T_f = 423 + 30t$ K; $t > 27$ h,

$T_f = 1233$ K;

制度 4: $t \leq 40$ h, $T_f = 423 + 20t$ K; $t > 40$ h,

$T_f = 1233$ K;

制度 5: $t \leq 54$ h, $T_f = 423 + 15t$ K; $t > 54$ h,

$T_f = 1233$ K;

制度 6: $t \leq 5$ h, $T_f = 423 + 20t$ K; $5 < t < 10$

h, $T_f = 523$ K; $10 < t < 15$ h, $T_f = 523 + 30t$ K;

$5 < t < 20$ h, $T_f = 673$ K; $20 < t < 40$ h, $T_f = 673$

+ $20t$ K; $40 < t < 50$ h, $T_f = 1073$ K; $50 < t < 65$

h, $T_f = 1073 + 15t$ K; $65 < t < 72$ h, $T_f = 1233$ K。

2 计算结果及分析

2.1 加热过程中阴极温度的变化

图 1、图 2 给出了不同加热制度时, 阴极上表面温度、阴极下表面温度与加热时间的关系。由图可知, 不同加热制度下, 不论是上表面温度还是下表面温度, 升温速度相差较大, 不同加热制度的加热时间也相差很大; 制度 1 的加热时间最短, 约为 43 h, 制度 6 的加热时间最长, 约为 70 h。

图 3 给出了不同加热制度时, 加热过程中, 阴极上、下表面温差的变化。由图可知, 在加热过程中, 不同加热

制度下, 阴极上、下表面温度差别极大。加热制度 1 时, 最大温差达到 530 $^\circ C$ 左右, 在加热过程中, 最大温差最小的是加热制度 5, 最大温差为 273 $^\circ C$, 其次是加热制度 6, 最大温差为 306 $^\circ C$; 且加热制度 5 在整个加热过程中, 升温速度和温度变化均较平稳。加热制度 6 的升温变化虽也较平稳, 但温差变化相对较大, 且加热制度 6 的升温曲线比加热制度 5 要复杂得多。

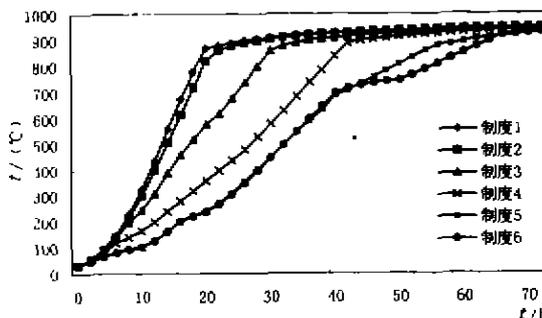


图 1 不同加热制度下阴极上表面温度的变化

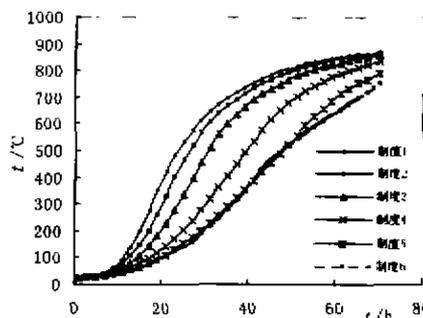


图 2 不同加热制度下阴极下表面温度的变化

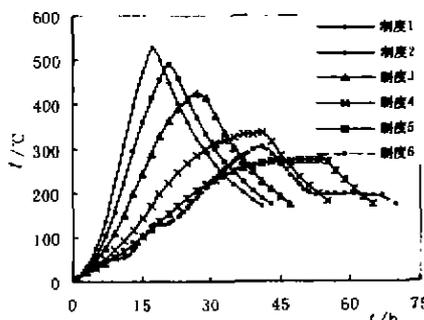


图 3 加热过程中阴极上下表面温差的变化

2.2 供热强度和燃料消耗量的变化

图 4 为不同加热制度下, 供热强度 q 与时间的关系。由图 4 可知, 除加热制度 6 以外, 供热强度随时间

的变化规律大致相同。而加热制度6的供热强度变化较为复杂,原因是,加热制度6设有多个保温期,在保温期供热量需减少,而其它加热制度的保温期只有一个。

图5为不同加热制度HR下,燃耗B、加热时间t的变化。由图可知,随升温速度变慢,总的趋势是加热时间延长,燃耗增加,但比较加热制度1和加热制度2、3可知,当升温速度大于30℃/h后,随升温速度变快,燃耗未降低,反而有所增加,而加热时间减少的幅度也变小。

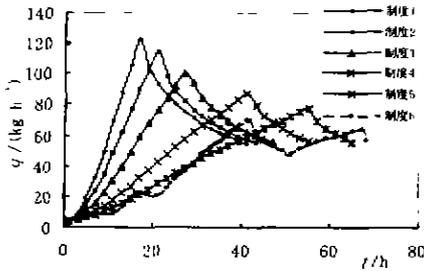


图4 不同加热制度下供热强度的变化

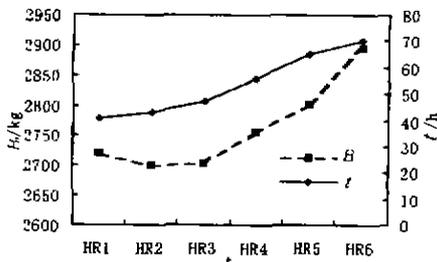


图5 不同加热制度下加热时间和燃耗

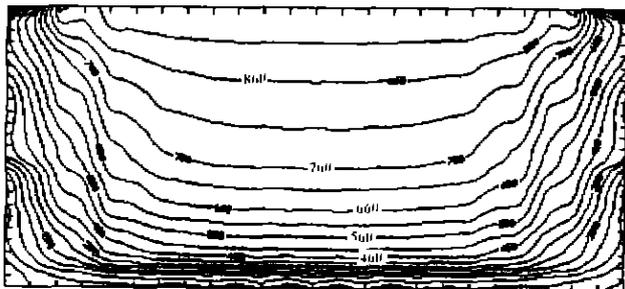


图6 加热制度5在65h后槽底断面的温度分布

2.3 加热终了时电解槽槽底各层的温度分布

不同加热制度下,加热终了时电解槽槽底的温度变化如表2所示。

由表2可见,不论何种加热制度,加热终了时,槽底各层内的温度较接近。

图6为加热制度5下,加热终了时槽底断面温度分布。从图6可看出,加热终了时,阴极大部分区域温度已超过750℃,这对于电解槽的启动将十分有利。

表2 不同加热制度下,槽底的温度变化

指标	制度2	制度3	制度4	制度5	制度6
加热时间(h)	43	47	56	65	70
阴极上表面温度(℃)	929.9	929.6	929.9	929.5	928.7
阴极下表面温度(℃)	754.2	752.7	755.2	753.4	753.4
耐火层温度(℃)	671.8	670	673.9	672.8	678.2
保温层温度(℃)	485.2	483.5	490.3	492.5	510.1
绝热层温度(℃)	160.9	160.3	162.8	163.8	170.3
槽底温度(℃)	66.7	66.5	67.1	67.3	68.8

2.4 加热制度的比较

各加热制度的比较如表3所示。

表3 各加热制度的比较

指标	制度1	制度2	制度3	制度4	制度5	制度6
加热时间(h)	41	43	47	56	65	70
最大温差(℃)	528	489	430	336	272	306
加热制度	简单	简单	简单	简单	简单	复杂
供热制度	简单	简单	简单	简单	简单	复杂
燃料消耗(kg)	2 720	2 700	2 704	2 756	2 802	2 895
高温期时间(h) (表面温度>800℃)	22	21	19	17	14	12

比较各加热制度可见,加热制度5和6较好。而加热制度5,由于供热制度简单,升温过程中温差较小,燃耗较低,采用加热制度5更优。

3 结论

通过对铝电解预焙槽加热制度的分析,得出以下结论。

- 1) 优化确定的加热制度完全能够满足铝电解预焙槽气体焙烧启动的工艺要求。
- 2) 不同加热制度下,加热终了时,铝电解预焙槽槽底的温度分布十分接近。应从加热过程的温度分布、温升速率、燃耗和可控性来综合判断加热制度的优劣。
- 3) 在加热过程中,各加热制度产生的效果相差较大。综合各加热指标,认为加热制度5对铝电解预焙槽的加热来说更合理。
- 4) 各加热制度下,燃料消耗量相差不大。延长加热时间,燃料消耗量略有增加,但供热强度差别却很大。

(下转 110 页)

