

浅谈罐式炉（56罐）结构和烘炉技术

李 辉

甘肃华鹭铝业有限公司 甘肃省 白银市 730900

摘 要：本文通过对八层56罐顺流式罐式炉的煅烧生产工艺工作原理以及炉体结构和烘炉过程进行了描述和分析，认为要实现罐式炉效益的最大化，在后期的罐式炉工艺管理中要综合考虑温度，燃烧量，挥发份，负压四个工艺参数的辩证关系，四者息息相关，认真控制和调整好这四个工艺参数和变量，是罐式炉炉况稳定，热效率提高，炉龄寿命延长的关键因素。

关键词：碳素；罐式炉煅烧；炉体结构；烘炉；热效率

前言：随着铝用碳素的不断发展和环保达标排放的不断严格，煅烧车间在铝用碳素生产中对产品质量起着重要影响的工序，煅烧工序也直接影响到碳素阳极企业产品的质量和经济效益，所担负的作用越来越重要，煅烧罐式炉除了要确保成型阳极煅后焦的正常使用外，还担负着成型导热油升温以及余热的再次利用和脱硫系统的达标排放等工作。因此及时确保罐式炉以及外围相关各种设备的正常运行，减少停车率，并及时根据现场罐式炉的运行炉况，控制好温度，产量，挥发份，负压，确保在炉况稳定的前提下产量最大化，效益最大化，是罐式炉生产追求的最终目标。

1 煅烧工艺基础理论

石油焦煅烧的初期属于低温烘干阶段，这时发生的变化基本属于物理变化，主要是排除水分；而在挥发份排除的阶段，主要是化学变化，此时随着煅烧温度的升高，原料中可燃类化合物不断发生分解，以确保煅烧过程的顺利进行。影响煅后焦质量的主要因素是煅烧温度，通常石油焦煅烧温度必须达到1200℃以上，才能实现原料煅烧的目的^[1]。

石油焦一般都含有3-10%的水分，石油焦随温度的升高而排出的可燃气体称为挥发份，石油焦一般都含有8-13%的挥发份，其结构较为复杂。原料经过煅烧可排除其中的水分和挥发份，从而提高石油焦的各项理化指标，煅后焦水分含量一般小于0.5%。煅后焦中总有残余挥发份，一般约为1.5%左右。

石油焦经过煅烧，由于挥发份的排除，体积收缩，分子结构重新排列，体积密度增大、强度提高。石油焦煅烧越充分，对产品质量越有利。石油焦煅烧后密度增

加，也提高了石油焦致密度。合格的煅后焦真比重约为2.08 g/cm³左右，原料经过煅烧后，真比重大幅度提高，石油焦煅烧后真比重提高约40%左右。

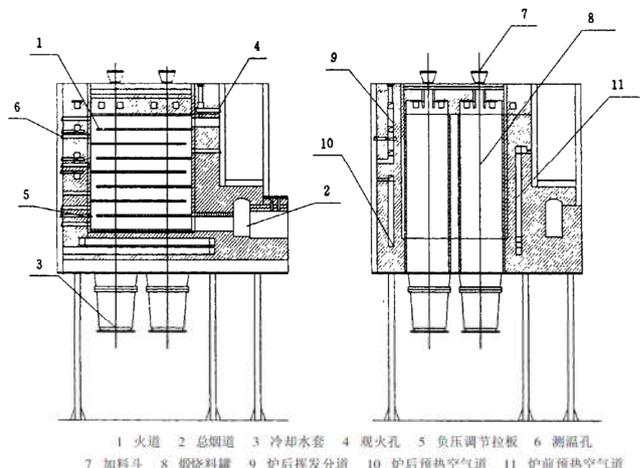
石油焦经过煅烧后排除了挥发份，同时分子结构发生变化，比电阻明显降低，导电性能显著提高。一般来说，温度越高，煅后焦导电性越好，对炭阳极产品质量越有利。合格的煅后焦比电阻约为480Ωmm²/m左右。

石油焦经过煅烧，可使其物理化学性质稳定。随着煅烧温度的升高，石油焦在高温作用下发生热解和聚合反应，此过程中氢、氧、硫等杂质相继排出，从而提高了抗氧化性。

2 煅烧罐式炉的结构及工艺原理

2.1 罐式炉结构概述和改造

罐式炉的构造由炉体（包括料罐、火道、四周大墙、烟道）和围炉平台以及附属在炉体上的冷却水套、加料排料装置、燃气管道等几部分组成。一般来说根据罐式炉的工作原理，可将炉子分为预热带，煅烧带和冷却带。罐式炉结构简图：



图一、八层火道顺流式罐式煅烧炉结构图

通讯作者：李辉，1975.3，汉族，男甘肃庆阳宁县人，现就职于甘肃华鹭铝业有限公司，主任，工程师，本科，研究方向：铝电解及碳素方向

椭圆形料罐由硅砖砌筑,每个料罐有两个加热面,每个罐有两个溢出口,溢出口是挥发份进入总道的通道,沿料罐高度配置八层火道,在烘炉结束后首层温度达到1000度以上时,撤去天然气加热装置,炉子开始缓慢加料,由于首层火道温度较高,可以使得石油焦中挥发份溢出,炽热的挥发份火焰沿火道承Z型,在炉体负压的作用下使得挥发份在首层溢出口溢出,经由总道→竖道→横道→首层→二层一直到八层迂回前进,挥发份在火道中燃烧持续加热罐中的石油焦。通常挥发份进入总道后,沿着炉前炉后的竖道下移分配到火道。通常把烟道出口方向、挥发份进入首层一面叫炉前,与之相对应另一面叫炉后。炉前挥发份沿竖道、预热空气沿空气道汇集到首层;炉后挥发份沿竖道、预热空气沿空气道汇集到二层。在炉子首层有挥发份拉板,预热空气拉板,和冷空气调节门。二层也设有预热空气拉板和观察孔。三六层进行测温,装有热电偶。七层设置有负压拉板,处于长期打开状态,用于确保罐式炉正常生产所需要的负压。八层设有炉前和炉后两个预热空气门,也处于长开状态,其作用是确保预热空气道内流通,以降低炉体外墙和炉底板,以及水套碎料机的温度,确保设备的正常运转。燃烧后的挥发份烟气从最下层(第八层)火道进入各组罐共用的烟气集合道内,再经过余热锅炉,脱硫系统引风机,用钠钙双碱法的碱液进行脱硫,二氧化硫控制在 $400\text{mg}/\text{m}^3$ 以内后经过脱硫烟囱排空。

罐式炉每四个料罐构成一组,一组就是一座炉子的基本单元,炉子的料罐数目是四的倍数。我公司罐式炉每个料罐的尺寸为:长 \times 宽 \times 高 = $2020\times 360\times 7888\text{mm}$ 。一组料罐的挥发份,只能在本组收集和燃烧使用。同一组的四个火道共用本组挥发份。我公司罐式炉结构为14组56罐8层顺流式罐式炉。

在筑炉初期,吸取其他罐式炉先进的设计理念,根据我公司罐式炉料罐大面多,火道高,转向口大,挥发份多,溢出口小不便于挥发份溢出的特点,对首层挥发份溢出口进行了加大改造。改造后使得挥发份能够在首层充分溢出,提高了首层温度,也降低了炉子放炮的几率,对延长炉寿命和提高罐式炉产量都有着重要的意义^[2]。

3 石油焦混配的重要性

近年来,对于石油焦煅烧工艺来说,原料石油焦各个厂家质量参差不齐,并普遍呈下降趋势;但是对煅后焦产品质量要求却越来越高,特别是对灰分和铁元素的控制特别严格。因此,原料石油焦的混配就显得尤为重要,原料的混配原则基于以下几个方面:

3.1 满足罐式炉对原料石油焦挥发份的要求,石油焦挥发份在9-11%适宜罐式炉生产。

3.2 满足罐式炉对原料石油焦粒度的要求,破碎粒度不超过80毫米,粉焦率不能过高。

3.3 满足产品煅后焦对灰分和微量元素的要求,如锻前石油焦铁不能超过350ppm。

为了满足煅后焦的各项理化指标和微量元素符合生产需求,对石油焦的各项指标的及时监控和分析是关键,在实践生产中对入库的入仓的石油焦加大了取样化验的力度,努力做到取样化验要有代表性,准确性和及时性。尤其是通过对锻前配料方仓的取样化验结果,在石油焦配料过程中,按照挥发份和铁高者少配,低者多配的原则进行配料,并按照加权平均的方法进行计算配料结果,取得了良好的效果。严抓和细化配料过程,确保挥发份控制在9-11%左右,锻前铁含量在350以内。

4 罐式炉烘炉操作技术

4.1 烘炉的目的

罐式煅烧炉的干燥和烘炉是彼此相联的工艺过程。干燥的目的在保证灰缝不变形、不开裂,保持炉子砌体严密性的前提下,逐渐排除罐式炉砌体中的水份。烘炉升温目的在于提高砌体温度,并使加热火道达到可以开始正常加排料时的温度。

4.2 烘烤升温曲线的制定

因为罐式炉罐体中心部分主要是由硅砖砌筑。因此,硅砖随温度升高而膨胀的特性是确定烘烤期的理论依据。一般选砌体每昼夜允许的线膨胀为:0.035%做为可行的安全界限。

4.2.1 我公司罐式煅烧炉罐体部分由硅砖砌成,硅砖高度6256mm,粘土砖高度1656mm。依据硅砖厂家提供G4硅砖试样,送检G9、G18硅砖试样线膨胀率计算平均线。

4.2.2. 从上表可以得出线膨胀1.24%,计算硅砖部分炉高膨胀 $6256\times 1.24\% = 77.57\text{毫米}$ 。

4.2.3 在实际烘炉过程中,室温至 400°C 以前是关键阶段,该温度区间的理论膨胀量占总膨胀量80%,尤其在 300°C 以前,在这个温区段对升温要严加控制,应适度放慢升温速度。整个烘炉阶段实际班膨胀量不得超过0.5mm,日膨胀量不得超过1.6mm,同时考虑到 100°C 左右时炉体水分排出、及几个晶体转换阶段要做适当保温。在整个烘炉阶段要仔细测量炉高膨胀量,保证炉高日膨胀量不得超过炉体的膨胀量安全界限。烘炉时必须严格控制炉高膨胀。炉高膨胀超过规定要求时要采取保温措施。

表一：烘炉曲线

温度范围℃	温区内硅砖线膨胀值%	安全日膨胀值%	温区硅砖理论膨胀值mm	每班上升温度℃	升温速度℃/h	温区所用时间d	温区所用时间h	累积时间d
常温-50	0.03	0.0195	1.88	4.8	0.6	1.54	37.0	1.54
50-100	0.083	0.0160	5.19	3.2	0.4	5.20	124.8	6.74
100-200	0.46	0.0276	28.78	2	0.25	16.67	400.1	23.41
120保温				0	0	1.00	24.0	24.41
170保温				0	0	1.00	24.0	25.41
200-300	0.313	0.0225	19.58	2.4	0.3	13.89	333.4	39.30
275保温				0	0	1.00	24.0	40.30
300-400	0.11	0.0211	6.88	6.4	0.8	5.21	125.0	45.51
400-500	0.083	0.0199	5.19	8	1	4.17	100.0	49.68
500-600	0.053	0.0153	3.32	9.6	1.2	3.46	82.9	53.13
573保温				0	0	1.00	24.0	54.13
600-700	0.047	0.0169	2.94	12	1.5	2.78	66.7	56.91
700-800	0.04	0.0192	2.50	16	2	2.08	49.9	58.99
800-900	0.017	0.0122	1.06	24	3	1.39	33.3	60.38
870保温				0	0	0.50	12.0	60.88
900-1000	0.003	0.0029	0.19	32	4	1.04	25.0	61.92
1000-1250	0	0	0	40	5	2.08	50.0	64.0
合计	1.24		77.51			64.0	1536	

5 烘炉的操作原则和方法

烘炉低温阶段采用天然气套筒，使天然气经套筒流到套筒外边再燃烧；炉温调节极为方便，灭火时容易被发现，套筒装折又很容易。升温至400℃时就可以卸掉套筒直接加热。首层负压的调整要随着炉温的上升而逐步提高。

5.1 负压的调整:

为了确保干燥烘炉曲线付诸实施，负压调整必须要坚持以下原则：

5.1.1 低温时负压小；高温时负压大。

5.1.2 边号火道负压大；中间火道负压小。

5.1.3 负压的递增要随首一八层温差的增加而逐渐加大。

5.1.4 火道之间的负压差调整用负压拉板调整；总体负压的调整用排烟机进出口闸门、烟道闸门和排烟机冷空气进口闸门调整。

5.2 温度的调整

烘炉过程中，首层温度作为烘炉的控制温度，一般可以从以下几个方面来调节温度：

5.2.1 在保持天然气质量和压力稳定的前提下，要根据检测温度及时调节天然气用量的多少。

5.2.2 负压大小对温度的影响较大。不同的温度阶段

要求调整不同的负压，而且随着炉温的升高而逐渐增大负压。

5.2.3 炉体四周大墙和表面的裂缝，对边火道的温度影响较大。因此，要随时用石棉绳堵塞，烘炉结束后，应在裂缝处灌浆抹上鸡毛耐火灰浆，以保持炉体严密。

5.2.4 边火道消耗热量较多，烘炉后期升温也较困难。此时适当多给些燃料，负压比其它火道高2—3Pa，可以降低火道之间的温差。

5.2.5 低温温度微量调节时，可利用套筒进出的大小程度来控制。

6 炉体膨胀的测量与压力的调整及烘炉后期工作

烘炉过程中，通常以炉高膨胀的24小时累计值来控制烘炉进程，即炉高实际膨胀超出预定值时就保温，否则按计划升温曲线升温。炉高膨胀的控制，测量时的炉高值与24小时前测量的炉高值之差，等于炉高日膨胀增长值，如果炉高日膨胀增长值大于2.5mm的测点数，超出炉高总测点的一半时，就按测量温度值保温。保温时间到炉高日膨胀增长值符合允许的炉高日膨胀值，然后继续升温。炉高膨胀的测量次数是8小时一次。

一般情况，烘炉开始时，横向弹簧压力可为5吨；纵向压力定为6吨即可。烘炉控制温度为100℃时，炉体开始膨胀。横向弹簧压力可调为6吨；纵向弹簧压力可调

至7吨，当温度继续升高至350℃以上时，炉体膨胀较大时，将横向弹簧压力调为7吨；纵向弹簧压力调为8吨。以后保持这个压力吨位一直到烘炉结束。弹簧的调整以调整其长度来保证其一定的吨位。拉筋调整：每日一次。据炉况每六小时提升2.7公斤，均匀升温提产。

结语：

罐式炉炉体的结构和筑炉，烘炉过程的规范是影响炉寿命和提高罐式炉效益最大化的基础，负压是影响煨

烧温度的重要因素，定期对炉体火道集灰和结焦进行清理，保证火道的畅通，是罐式炉日常维护的关键。

参考文献：

[1]铝用炭素生产技术[M].中南大学出版社,刘凤琴,2010.

[2]铝电解高等学校教学用书(第二版)[M].冶金工业出版社,邱竹贤,1995.