

# 铝电解烟气净化系统除渣装置研究

杨贵森, 代强国

(四川启明星铝业有限责任公司, 四川 眉山 620010)

[摘要] 在铝电解的烟气净化系统中,设备的运行稳定性与电解烟气净化效率有着紧密联系,同等条件下,设备运行越稳定,电解烟气净化效率就会越高。本文提出了一种能够有效解决铝电解净化系统烟管除渣的装置,其具有增加烟气流量、提升设备运行稳定性、减少设备故障、降低维护成本及延长设备使用寿命等特点,使烟气净化效率得到了有效保障,提升环保技术指标,降低系统运行能耗。为铝电解烟管除渣提供了一种新的思路和办法。

[关键词] 铝电解; 电解烟气净化; 超浓相输送; 除渣装置

[中图分类号] TF821

[文献标志码] B

[文章编号] 1003-8884(2023)06-0024-05

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2023.06.005

## 0 前言

截至 2022 年 12 月 31 日,全球电解铝产能 7700 万 t,较 2021 年年末的 7 600 万 t 增加 1.32%。2022 年,国内已建成产能 4 430 万 t/a,产量 4 033 万 t,产能利用率 91%,2023—2025 年中国电解铝消费量将达到 4 200 万 t,4 180 万 t,4 150 万 t,产能主要分布在山东、新疆、内蒙和云南等地。

基于国内有 4 000 多万吨电解铝产能的超大规模,与电解铝厂配套的电解烟气系统只有几百套。庞大的净化系统中,除尘器的正常运行及烟管的正常集气是各个铝厂重点考虑的工艺环节,加之环保指标及能耗招标的不断要求,净化系统的正常运行尤为重要。

## 1 铝电解烟气净化技术及工艺

### 1.1 干法净化原理

干法净化是直接利用铝电解的生产原料——氧化铝做吸附剂,吸附铝电解烟气中的氟化氢(HF)等有害成分,回收的含氟氧化铝可返回电解生产使用所

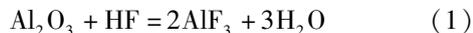
进行的过程。具有吸附作用的物质(氧化铝)称为吸附剂,被吸附的物质(氟化氢等)称为吸附质。

### 1.2 吸附原理

从氧化铝和氟化氢的性质可知道,氧化铝微孔多,比表积极大,具有两性化合物的特性,是干法净化电解烟气较理想的吸附剂。氟化氢是酸性强、沸点高、负电性大的吸附质。因此氟化氢很容易被氧化铝所吸附。

氧化铝对氟化氢的吸附主要是化学吸附。在吸附过程中,在氧化铝表面上生成单分子层吸附化合物,每个氧化铝分子吸附 2 个 HF 分子。根据 X 光衍射测定,这种表面化合物在 300 ℃,以上转化成  $Al_2O_3$  分子。该过程的特点是速度快而不易解吸。据报道,这一过程在 0.25 ~ 1.5 s 的短时间内完成。用氧化铝来吸附的效率可高达 98% ~ 99%。铝工业用的氧化铝,因焙烧温度不同而使其比表面积和表面活性有所差别,从而对氟化氢的吸附性能不同,其饱和含氟量通常为 1.5% ~ 1.8%,这些基本特点,给应用氧化铝来净化含氟烟气提供了必要的条件。

从物理化学的观点来看,氧化铝对氟化氢的化学吸附过程包括以下几个步骤:①HF 在气相中扩散;②扩散的氟化氢通过氧化铝表面气膜达到氧化铝的表面;③HF 受氧化铝表面原子的剩余价力的作用而被吸附;④被吸附的氟化氢与氧化铝发生化学反应,生成表面化合物氟化铝( $AlF_3$ ),反应式见式(1)。



[收稿日期] 2023-09-02

[第一作者] 杨贵森(1972—),男,四川荣县人,自动控制高级工程师,主要从事电解铝工艺、设备、控制及新产品开发等相关的研发工作。

[引用格式] 杨贵森,代强国. 铝电解烟气净化系统除渣装置研究[J]. 有色设备,2023,37(6):24-28.

在较低的温度下,有利于式(1)反应迅速向右侧推进。

干法净化系统,通常是在烟气通过袋式收尘器进行收尘之前,使烟气在反应器中与氧化铝直接接触,反应器是一种强化手段,可改善气固两相的接触工艺,使接触表面不断更新。这对于减少气膜内的扩散阻力无疑是有益的,此外,烟气中的 HF 浓度愈高,则愈有利于吸附过程的进行。提高电解槽的密闭程度,避免空气漏入集气装置,对于提高吸附效率是必要的。

### 1.3 过滤收尘及回收原理

在铝电解生产中,产生出大量悬浮固体颗粒(烟尘)的气体。将这些烟尘从气体中分离出来的操作称为收尘。

过滤收尘的方法可以分为两种基本类型:①内部过滤;②表面过滤。铝电解烟气净化除尘设备采用表面过滤技术,介质为滤布,捕集烟尘的过程在过滤介质表面上进行。

脉冲布袋收尘器过滤机理:含尘气体从入口进入布袋收尘器,在气体通过滤布时,烟尘被截留在布袋上,净化后的气体从出口排出。经过一定的时间,开启压缩空气反吹系统,使脉冲气流进入布袋内,布袋外的烟尘受到脉冲振动而落入灰斗。过滤收尘原理主要有筛分效应、惯性碰撞、扩散效应、钩住效应、静电效应等。

### 1.4 铝电解烟气净化工艺

铝电解烟气干法净化系统主要由排烟净化和供排料两个系统组成。

#### 1.4.1 排烟净化系统

所有电解槽均用小型活动盖板和上部盖板密闭,槽内烟气通过集气罩及上部的联结支管与系统连接。

每台电解槽的支管均接在室外架空的水平干管上,干管接至脉冲袋式除尘器,经过净化后的烟气,通过排烟风机送入 70 m 高的烟囱排空。传统烟气净化系统工艺流程见图 1。

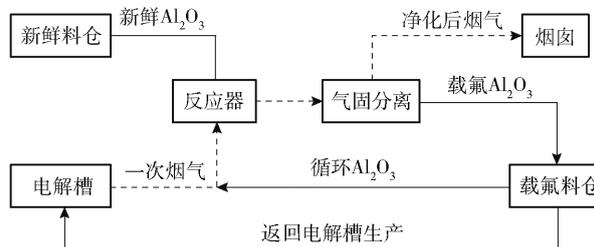


图1 传统净化系统的工艺流程设计

#### 1.4.2 供、排料系统

干法净化的供、排料系统包括新鲜氧化铝和循环氧化铝两部分的输送。新鲜氧化铝来自电解新鲜氧化铝仓,再由空气提升机、风动溜槽、冲板流量计送至反应器与氟化氢气体接触反应,循环氧化铝是从袋式除尘器回收下来的含氟氧化铝,经风动溜槽、空气提升机等送至含氟氧化铝仓,一部分重返烟气管道内进行吸附反应,另一部分供电解槽使用。净化投料及返回流程见图 2。

### 1.5 超浓相输送原理

超浓相具有“蓄能流态化”的特性,由于在输送过程中固气比(物料浓度)较浓相输送更高而得名。

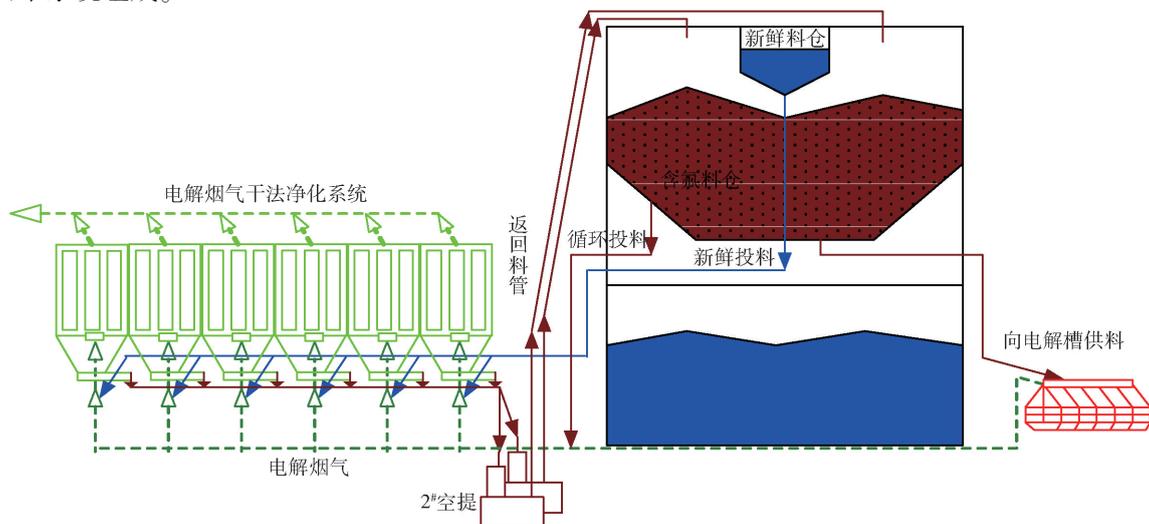


图2 净化投料及返回流程

在大气压下,溜槽料室充满物料,溜槽气室具有一定压力的低压空气,当溜槽气室接通气源后,低压空气通过透气层进入料室,经物料颗粒之间的微小空隙而遍布物料之间,此时物料室内物料颗粒之间充满具有一定压力的气体,在平衡料柱的作用下蓄有一定的能量,并在此压力下处于静态平衡。当系统某一排料点突然打开开始下料时,料斗内料面下降,料

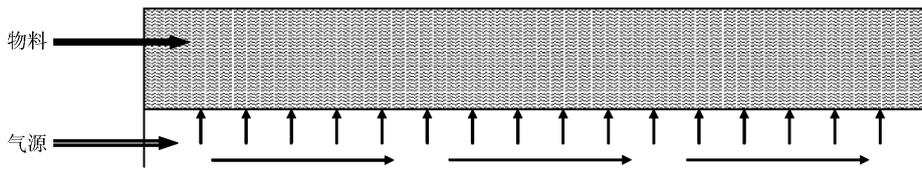


图3 输送溜槽内物料示意图

## 2 电解烟气净化系统存在的问题

在电解槽生产过程产生的电解烟气,含有固态粉尘:氧化铝、冰晶石、固态氟化物(固氟)、阳极气体带出的炭渣和电解质液滴等,经过烟管进入除尘器系统;因烟管管路长,管壁内易结壳,结壳脱落后形成大小不均的块状、颗粒状、粉状等,也随烟气进入除尘器系统。这样烟气净化系统中就带入不同粒径粉状物、颗粒物和不同大小块状物等杂物,经过日积月累在烟气通道中或者在除尘器系统中就会沉降、积聚、黏附、板结等,烟气通道(烟道)气流空间会逐渐减少,气流通道变得狭窄,系统阻力增大,烟气流量降低。为保证烟气量保持不变,需加大抽风(或鼓风)设备负荷,从而增加系统能源消耗;大颗粒粉状物、块状物等杂物进入下一流程设备(主要有除尘器设备、排料主溜槽等)。新鲜氧化铝在除尘器吸附含氟电解烟气中的氟化氢气体经除尘器滤袋回收掉落到除尘器灰斗中形成载氟氧化铝,载氟氧化铝再经灰斗溜槽→分支溜槽→主溜槽→汇总箱→投料溜槽→气力提升机→空提管→料仓等流程返回料仓供电解槽生产使用。因烟气中含有各类杂质,载氟氧化铝在返回溜槽的过程中,溜槽经常出现走料困难,甚至于堵料,导致物料不能正常流动和正常返回载氟氧化铝料仓,阻碍了电解烟气净化系统的正常运行。各类、各环节溜槽出现走料困难,甚至于堵料大多数因为溜槽内的物料杂质较多,满足不了溜槽走料的条件。基于此,本文将介绍一种除渣方法及装置,去除物料中的杂质,可以在很大程度可

斗上面的下料管中的料流出来后便有空,此时附近的物料由于蓄有一定压力的空气而膨胀释能,在释能过程中使物料局部形成流态化,在重力作用下进入料斗中,料室内的料进入料斗中,相应点就空出来,同理又为周围物料所填满,这一过程一直沿着斜槽传播到料仓的供料点,从而将物料由料仓输送到排料点。输送溜槽内物料示意图如图3所示。

以缓解溜槽走料不畅的问题。

## 3 优化烟气净化系统方法

根据电解生产工艺及现场设备布置情况,在烟气管路上,寻找烟气流向改变处即在烟气管道走向拐弯的弯管处,增加具有独特核心技术的烟管除渣装置,采用气压均衡原理、惯性原理、离心力原理、快开技术等融合诸多物理技术的方法将烟气中的杂物有效去除。

本技术以铝电解生产过程中的电解烟气净化系统为例进行描述,该系统烟管内部处于负压状态,根据产能的不同,一般处于800~1500 Pa左右。其他行业的烟气净化如果同样为负压烟管可参照此列;如果是系统为正压烟管,则只需要改变挡板门的位置即可(见相关附图),其他类同。在卧式烟道和立式烟道的转角处通过本装置能很大程度的起到除渣效果。降低烟道堵塞,保障烟管畅通,降低风机能耗及提升除尘器设备运行平稳。既解决问题又降低能耗,同时降低设备维护量,具有很好的经济效益。

## 4 铝电解烟管除渣装置

烟管除渣装置包括沉渣箱、门框、挡板门、挡板门上小孔、挡板门开关、快开观察孔、检修门(如图4、图5所示)。

1) 沉渣箱:为3~5 mm厚钢板焊接制作而成,沉渣箱体接口尺寸(宽度)与所需要连接的卧室烟道横切面保持尺寸一致,并于连接,箱体高度大于卧室烟道1.5倍(上表面平齐,下表面下沉0.5

倍),长度在2~4 m(依据烟管尺寸及烟气流速确定),便于渣滓进入并掉落其中储存)。

2)门框:上、左、右门框宽约15 mm,下边底部无门框阻挡,门框镶嵌在烟管内部(见附图),杂物按照烟气流向冲入沉渣箱,并掉落在箱底部沉积。挡板门关闭后,门框起到对挡板门的支撑作用,隔断烟管与沉渣箱通道,为沉渣箱杂物的检查或清理工作创造条件。

3)挡板门:为约8~14 mm厚钢板所制,确保必要的强度。挡板门上,靠门框面,铺一层毛毡等类似的密封软质材料,在挡板门关闭时,门与门框之间起到很好的密封效果,毛毡的铺设方式可以粘接或者层孔螺丝固定。挡板门下边缘与卧室烟道底部钢板缝隙尽量做到最小;挡板门的强度要确保使用过程中的安全,能承受系统管路的压力。

4)挡板门小孔:挡板门中上部有 $\phi 8$ 至 $\phi 15$  mm的小孔(即气压平衡孔):①生产工艺系统正常运行时,挡板门开启并固定靠烟管侧壁,沉渣箱处于正常除渣状态。当需要检查沉渣箱时,关闭挡板门(并固定),隔断烟管与沉渣箱的气路通道,再开启快开观察孔,此时沉渣箱内的气压即可释放,小孔流入的气流不足以影响沉渣箱内部气压,这时,观察孔处进入的气流很小,不影响维护人员检查沉渣箱内部情况,如果沉渣箱内杂物多到需要清理,这时就可以打开检修门(快开观察孔已打开,沉渣箱与外界气压基本相等)开展清理工作,因挡板门的作用,清理过程杂物不会倒吸入烟管中,保证清理的彻底;②清理完后,关闭检修门、关闭快开观察孔,这时,沉渣箱与烟管内部存在较大的压差。在此情况下,挡板门是很难打开的(负压作用在挡板面上的压力很大)。待等待3~5 min后,因挡板门上小气孔有气流不断从沉渣箱进入烟管,逐渐的,烟管与沉渣箱建立新的气压平衡,挡板门上的作用力逐渐降低至没有作用力,这时就可以打开挡板门并固定在烟管侧壁,恢复生产工艺的正常除渣。

5)挡板门开关:由连杆、把手、开与关的定位组成,开启或关闭后,插入定位销,确保状态能一直保持。

6)快开观察孔:定期检查沉渣箱及卧式烟道内的沉渣情况。

7)检修门:需要对沉渣箱内进行清理时,打开后清理箱体内部的沉渣。所述挡板门开关,由连杆、把手、开与关的定位组成,开启或关闭后,插入定位销,

确保状态能一直保持。

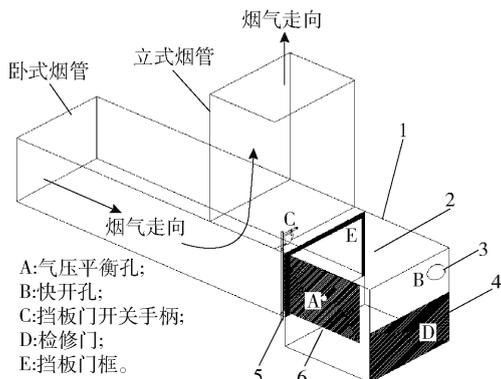


图4 除渣装置示意图(管道内部为负压)  
1. 卧式烟道;2. 挡板门框;3. 快开孔;4. 检修门;5. 挡板门开关手柄;6. 挡板门(门上有个气压平衡小孔A)

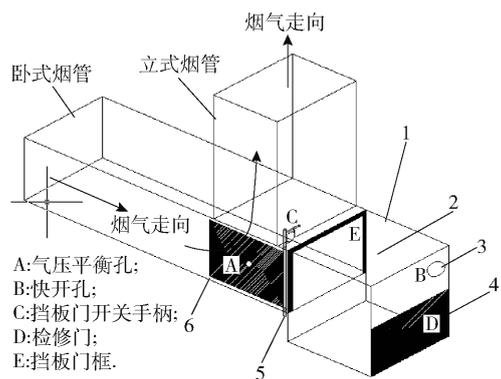


图5 除渣装置示意图(系统管道内部为正压)  
1. 卧式烟道;2. 挡板门框;3. 快开孔;4. 检修门;5. 挡板门开关手柄;6. 挡板门(门上有个气压平衡小孔A)

## 5 结语

1)采用本除渣装置后,系统流程中烟气中的杂质被去除,进入物料中的杂质减少,提高了物料的流动性和电解烟气净化系统内物料输送的稳定性,降低堵料风险和排料次数,降低因排料过程现场粉尘飞扬及操作人员劳动强度。

2)烟道清理后,管道阻力降低、烟气流流畅通,在很大程度上降低排烟风机的负荷和系统运行能耗。

3)既解决生产工艺出现的问题,又提高了整个系统的运行效率,提高电解物料供料的均衡性,保证了电解槽运行的平稳和更好的电流效率,从而提升电解效率。

### [参考文献]

[1] 邱竹贤. 预焙槽炼铝[M]. 北京:冶金工业出版社,2005.

- [2] 孙志礼. 机械设计[M]. 沈阳:东北大学出版社,2008.
- [3] 邓翔,吕维宁. 铝电解烟气干法净化系统的研究——除尘器内部流场[J]. 轻金属,2009(07):56-59.
- [4] 梁春玉,董晓芒. 铝电解烟气净化系统中菱形大布袋除尘器的运行管理[J]. 有色冶金节能,2010,26(05):33-35.
- [5] 王冰. 应用气箱脉冲袋除尘器净化铝电解含氟烟气的实践与研究[J]. 环境污染治理技术与设备,2006(12):141-144+149.
- [6] 吕维宁,虞婷婷,邓翔,等. 铝电解烟气干法净化氧化铝测试分析[J]. 轻金属,2014,(11):59-62.
- [7] 彭倩倩,房辉,程志远,等. 精细氧化铝应用研究进展[J]. 中国资源综合利用,2023,41(07):118-121+126.
- [8] 赵娜,尤翔宇. 干式除尘技术在国内有色冶炼行业的应用及发展趋势[J]. 有色金属科学与工程,2018,9(02):96-102.
- [9] 凌泽宝,黄校,李文,等. 铝电解企业烟气净化系统优化技术研究[J]. 企业科技与发展,2015(10):28-29+31.
- [10] 赵双狮,董晓芒. 铝电解烟气净化系统节能技术的研究与实践[J]. 轻金属,2014(07):51-54.
- [11] 王侠前. 换极对铝电解槽稳定性的影响及改进措施[J]. 中国有色冶金,2021,50(06):44-48.

## Research on slag removal device for aluminium electrolytic flue gas purification system

YANG Guisen, DAI Qiangguo

**Abstract:** In the flue gas purification system of aluminium electrolysis, the operation stability of the equipment is closely related to the electrolytic flue gas purification efficiency, and under the same conditions, the more stable the operation of the equipment, the higher the electrolytic flue gas purification efficiency will be. In this paper, a device that can effectively solve the problem of smoke pipe slag removal in aluminium electrolytic purification system is proposed, which has the characteristics of increasing flue gas flow, improving equipment operation stability, reducing equipment failure, reducing maintenance cost and prolonging the service life of equipment, so that the flue gas purification efficiency has been effectively guaranteed, the environmental protection technical indicators have been improved, and the energy consumption of system operation has been reduced. It provides a new idea and method for the slag removal of aluminium electrolytic smoke pipes.

**Key words:** aluminium electrolysis; electrolytic flue gas purification; ultra-concentrated phase conveying; slag removal device

