

# 氯化铵离心分离设备在高湿工况下的防堵技术

卢效吉

连云港碱业有限公司 江苏 连云港 222000

**摘要:** 氯化铵作为一种重要的化工原料,其生产过程中的固液分离环节至关重要。双级活塞推料离心机因其连续、高效的特性,已成为氯化铵脱水的主流设备。然而,在高湿工况下,氯化铵物料极易因吸湿潮解、结晶析出及粘附性增强而导致设备内部(如进料管、转鼓筛网、推料盘、母液通道等)发生严重堵塞,严重影响设备的连续稳定运行,降低生产效率,并增加维护成本。本文聚焦于离心分离设备本身,系统分析了高湿工况下氯化铵堵塞的成因与机理,并从设备结构优化、关键部件材质升级、辅助系统集成以及智能控制策略四个维度,提出了一套针对性强、可操作性高的综合防堵技术方案。研究表明,通过采用大倾角螺旋进料器、强化筛网自清洁结构、耐腐蚀耐磨复合材料、热风干燥/惰性气体保护系统以及基于物料状态反馈的自适应推料控制逻辑,能够有效预防和缓解堵塞问题,显著提升设备在恶劣工况下的可靠性和处理能力。

**关键词:** 氯化铵;离心分离;高湿工况;堵塞;防堵技术;活塞推料离心机

## 引言

氯化铵( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )广泛应用于化肥、电池、医药、电镀及金属焊接等领域。在工业生产中,无论是联碱法还是蒸发结晶法,最终都需将氯化铵结晶浆料进行固液分离,以获得符合要求的固体产品。在此过程中,离心分离技术凭借其分离效率高、处理量大、自动化程度高等优势,成为首选方案。其中,双级活塞推料离心机(Double-Stage Piston Pusher Centrifuge)因其独特的两级推料设计,能有效解决细颗粒物料在单级推料时易被推回转鼓的问题,特别适用于氯化铵这类粒径分布较宽(通常D50在100-300 $\mu\text{m}$ )、具有一定粘性的晶体物料。然而,氯化铵物料具有一项显著的物理特性——吸湿性。当环境湿度较高或物料自身含湿量过大时,氯化铵晶体表面会吸附水分,形成一层饱和溶液膜。这层液膜不仅大大增强了物料的粘附性,使其极易粘附在设备内壁和筛网上;更严重的是,随着温度波动或局部水分蒸发,该液膜会重新结晶,形成坚硬的垢层,牢牢地“焊”在设备表面。这种由“潮解-粘附-再结晶”构成的恶性循环,是导致离心机在高湿工况下频繁堵塞的根本原因。传统的应对措施多依赖于操作经验,如严格控制进料浓度(通常要求 $\leq 45\%$ )、调整推料频率等,但这些方法治标不治本,且对工艺条件的稳定性要求极高。一旦工况波动,堵塞风险依然巨大。因此,亟需从设备本体出发,开发一套系统性的、主动式的防堵技术体系。

## 1 高湿工况下氯化铵堵塞机理分析

要有效防堵,首先必须精准把握堵塞的发生过程。在双级活塞推料离心机中,堵塞主要发生在以下几个关

键区域:

### 1.1 进料系统堵塞

进料管是物料进入高速旋转转鼓的第一道关口。高湿氯化铵浆料在输送过程中,若流速过低(低于临界沉降速度1.2 m/s)或管路存在死角,物料便会沉积并逐渐压实。由于物料的粘附性增强,这些沉积物会像“滚雪球”一样越积越多,最终完全堵塞管道<sup>[1]</sup>。此外,进料分配器(布料斗)若设计不合理,无法使物料均匀、快速地铺展到一级转鼓上,也会造成局部堆积,形成堵塞源。

### 1.2 转鼓筛网堵塞

转鼓筛网是实现固液分离的核心部件。高湿氯化铵晶体在离心力作用下紧贴筛网,其表面的饱和溶液膜在强大的挤压作用下,会渗入筛网微孔。随着水分不断被甩出,筛网孔内的氯化铵会迅速结晶,形成致密的晶桥,将筛孔牢牢封死。一旦筛网堵塞,滤液无法排出,滤饼含湿量急剧上升,分离效率骤降,甚至导致设备过载停机。

### 1.3 推料机构与通道堵塞

双级活塞推料离心机的推料盘在往复运动中,负责将一级转鼓上的滤饼推至二级转鼓进行进一步脱水。高湿、高粘的滤饼在推料过程中,极易粘附在推料盘边缘、活塞杆以及两级转鼓之间的环形间隙中。反复的推料动作会将这些粘附物压实、累积,最终卡死推料机构,或堵塞滤饼向出口移动的通道。

### 1.4 母液与洗涤液系统堵塞

分离出的母液和洗涤液通常通过集液腔和排液管路排出。高湿工况下,这些液体中可能携带微细的氯化铵

晶体 ( $< 20\mu\text{m}$ )。当液体流经弯头、变径或阀门等部位时,流速降低,晶体便容易沉降、结晶,日积月累形成管路堵塞。

## 2 基于设备本体的防堵技术方案

针对上述堵塞机理,本文从设备结构、材料、辅助系统和控制逻辑四个方面,提出以下综合防堵技术。

### 2.1 结构优化设计

#### 2.1.1 进料系统优化

(1) 大倾角螺旋进料器:摒弃传统的直管或简单弯管进料方式,采用内置大螺距 ( $P = 50\text{mm}$ )、大倾角 ( $\alpha = 65^\circ$ ) 的螺旋推进器。该设计不仅能强制物料向前输送,防止沉积,还能在物料进入转鼓前对其进行初步的松散和预加速,减少对转鼓的冲击,并确保物料沿轴向均匀分布。螺旋叶片表面喷涂碳化钨涂层 (厚度  $\geq 0.3\text{mm}$ ),硬度可达HRC70以上,有效抵抗高湿物料的磨蚀<sup>[2]</sup>。(2) 防涡流布料斗:设计带有8片放射状导流叶片的布料斗,其出口形状与一级转鼓入口完美匹配。导流叶片能有效打散物料流,消除涡流,确保浆料以薄层、扇形的方式平稳覆盖在转鼓筛网上,避免局部冲击和堆积。布料斗内壁抛光至  $Ra \leq 0.4\mu\text{m}$ ,并采用镜面抛光处理,极大降低物料挂壁的可能性。

#### 2.1.2 转鼓与筛网结构强化

(1) 筛网自清洁结构:在筛网背面(非工作面)设计特殊的刮刀或振动装置。刮刀可随推料盘同步运动,在每次推料后对筛网表面进行一次“刮擦”,清除新生的粘附层。对于更精密的应用,可在筛网支撑结构中集成微型超声波振子(频率28kHz,功率50W/个),利用高频振动破坏筛孔内的晶桥形成。筛网采用三层复合结构:底层为3mm厚的2205不锈钢支撑板,中间层为0.5mm厚的冲孔板(孔径1.5mm),表层为0.2mm厚的精密编织网(孔径0.1mm)。(2) 分级筛网配置:根据氯化铵晶体的典型粒径分布,采用双层或多层复合筛网。内层为粗网,用于拦截大颗粒并形成初始滤饼骨架;外层为精网,用于截留细颗粒。这种结构既能保证过滤精度,又能通过粗网形成的疏松骨架改善滤液渗透性,降低堵塞风险。

#### 2.1.3 推料与出料通道优化

(1) 光滑过渡与大间隙设计:对推料盘、活塞杆及两级转鼓间的连接部位进行流线型优化,消除所有尖锐棱角和台阶,确保物料流动路径光滑无阻。同时,在保证机械强度的前提下,适当增大关键部位的间隙,例如将两级转鼓间的环形间隙从标准的8mm扩大至12mm,为高湿物料的通过预留足够空间<sup>[3]</sup>。(2) 强制出料辅助:

在出料口处增设压缩空气或低压蒸汽喷吹装置。在每个推料周期结束时,短暂开启喷吹(压力0.3-0.5MPa,持续时间0.5s),利用气流扰动将粘附在出料口附近的湿物料吹落,防止其累积成块。喷吹口采用文丘里管设计,以增强引射效果。

### 2.2 关键部件材质升级

氯化铵溶液具有强腐蚀性,尤其是在高温高湿环境下,对设备材质提出了严峻挑战。普通不锈钢(如304)极易发生点蚀和应力腐蚀开裂。(1) 主体结构:转鼓、机壳等主要承压部件应选用高等级双相不锈钢(如2205、2507)或哈氏合金(如C-276)。这些材料兼具高强度和优异的耐氯离子腐蚀性能。例如,2205双相钢的PREN(点蚀抗力当量数)值  $\geq 34$ ,远高于304不锈钢的19。(2) 筛网与易损件:筛网、刮刀、密封件等直接接触物料的部件,可采用硬质合金涂层(如碳化钨)或整体陶瓷材料。陶瓷不仅耐腐蚀,而且表面极其光滑,能极大降低物料的粘附倾向。刮刀刃口采用整体硬质合金(YG8)制造,硬度HRA  $\geq 89$ 。(3) 密封系统:主轴密封是防止物料泄漏和外部湿气侵入的关键。应采用多重密封组合,如“机械密封+迷宫密封+氮气密封”的形式。持续通入干燥的氮气(露点  $\leq -40^\circ\text{C}$ ,流量1-2  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ),可在密封腔内形成正压屏障(约5-10kPa),有效隔绝外部潮湿空气。

### 2.3 辅助系统集成

#### 2.3.1 热风干燥/惰性气体保护系统

在离心机内部腔体(特别是进料区和出料区)引入经过加热(60-80 $^\circ\text{C}$ )和除湿(相对湿度RH  $\leq 30\%$ )的洁净热风,或者直接通入干燥的惰性气体(如氮气)。该系统的主要作用有二:(1) 维持内部微正压干燥环境:持续置换机内潮湿空气,从根本上降低物料潮解的可能性<sup>[4]</sup>。(2) 对湿滤饼进行预干燥:在滤饼被推出转鼓前,热风或惰性气体可带走其表面的部分水分,降低其粘性,使其更易于流动和输送。

#### 2.3.2 在线清洗(CIP)系统

集成一套全自动在线清洗系统。在设备计划停机或检测到堵塞风险升高时,系统可自动执行清洗程序:先用高压水(压力8-10MPa)冲洗掉大部分松散物料,再注入专用的螯合清洗剂溶液(如EDTA二钠盐,浓度2-5%,温度50 $^\circ\text{C}$ ),溶解顽固的氯化铵结晶垢层,最后用清水彻底冲洗干净。整个CIP周期可控制在30分钟以内,大大减少了人工拆卸清洗的频率和难度。

### 2.4 智能控制策略

先进的控制逻辑是防堵的最后一道防线,它能让设

备根据实时工况做出最优响应。(1)基于扭矩/电流的堵塞预警:实时监测主电机的驱动电流或液压系统的推料压力。当这些参数出现异常升高趋势时(例如,电流超过额定值的85%并持续5秒),系统可判断为初期堵塞征兆,并自动触发预防措施,如短时提高推料频率(从60次/分增至80次/分)、启动出料口喷吹或发出报警提示操作人员干预。(2)自适应推料控制:传统的固定频率推料模式难以适应物料特性的变化。新型控制系统可根据进料流量、浓度以及主机电流反馈,动态调整推料频率和行程。例如,当检测到物料变湿、变粘时,系统会自动降低推料频率,延长滤饼在转鼓上的脱水时间,待其含水量降低、流动性改善后再恢复正常推料节奏。(3)批次式深度脱水模式:对于极端高湿的批次物料,控制系统可切换至“深度脱水”模式。在此模式下,推料机构暂停工作,让物料在转鼓内进行长时间的离心脱水(时间可设定为5-10分钟),直至其达到可正常推料的干度(通过模型估算或间接参数判断),然后再集中推出。这虽然牺牲了部分连续性,但能有效处理异常工况,避免设备损坏。

### 3 技术集成与工程实施要点

将前述各项防堵技术成功应用于实际工程,必须高度重视系统集成与精细化的工程实施。首先,热风/氮气保护系统的设计需进行精确的CFD(计算流体动力学)模拟,以确定最佳的进气口位置、数量及流量。通常,需要在进料锥筒和出料罩两个关键区域分别设置独立的保护气幕,流量需根据离心机转速产生的负压进行动态补偿,确保腔内始终维持5-15Pa的微正压,露点温度必须严格控制在-40℃以下,方能有效抑制氯化铵的潮解。其次,在线清洗(CIP)系统的管路布局应遵循“自排空”原则,所有水平管路需保证至少1/100的坡度,并在最低点设置排污阀。清洗喷嘴应选用实心锥形或扇形喷嘴,覆盖角度需确保无清洗盲区,喷淋密度建议不低于15L/(min·m<sup>2</sup>)。再者,智能控制策略的落地依赖于一个高可

靠性的传感网络。除了常规的电流、压力传感器外,建议在一级转鼓内壁加装非接触式的微波水分传感器,以直接获取滤饼实时含水率,为自适应控制算法提供最直接的输入变量。最后,所有新增子系统(如超声波发生器、喷吹电磁阀、CIP泵组)的电气接口必须与主控PLC(如西门子S7-1500系列)通过Profinet或EtherCAT总线进行高速通信,确保控制指令的同步性和安全性,并在HMI上建立完整的状态监控与故障诊断界面,便于操作人员及时干预。这些看似琐碎却至关重要的工程细节,共同构成了防堵技术从理论构想走向稳定可靠工业应用的坚实桥梁。

### 4 结语

高湿工况下的堵塞问题是制约氯化铵离心分离设备高效、稳定运行的核心瓶颈。本文通过对堵塞机理的深入剖析,提出了一套以设备本体为核心的、涵盖“结构-材料-系统-控制”四个层面的综合防堵技术体系。该体系能够从源头上抑制氯化铵的潮解与粘附,通过强化的硬件设计抵御堵塞的发生,并借助智能化的控制策略实现对异常工况的主动应对。未来,随着新材料、新工艺和人工智能技术的不断发展,氯化铵离心分离设备的防堵能力将得到进一步提升,为化工行业的绿色、高效、智能化生产提供更坚实的装备保障。

### 参考文献

- [1]李杰.HR系列卧式双级活塞推料离心机常见故障分析及处理[J].氮肥与合成气,2025,53(06):52-55.
- [2]钟云龙.氯化钾氯化铵溶液的结晶特性及双水相体系分离相平衡的研究[D].河北工业大学,2018. DOI:10.27105/d.cnki.ghbgu.2018.001696.
- [3]周里群,王智明,汪振南,等.三级活塞推料离心机数值模拟与操作参数优化[J].过程工程学报,2022,22(03):329-337.
- [4]陶渊卿,吕丽珍,杨晓军,等.小型双级活塞推料离心机主要运行参数设计[J].机电工程,2020,37(08):957-960.