

# 有机固废给料设备防堵结构的优化设计研究

朱振宇 韩雨晖

北京航天石化技术装备工程有限公司 北京 100176

**摘要:** 本文聚焦有机固废给料设备堵料问题,先分析堵料成因,包括物料黏结、通道卡阻和料流不均,指出现有防堵结构在通道设计、扰动破拱装置和驱动传输机构上的不足。接着提出优化方案,对给料通道截面、内壁和拐角优化,设计自适应扰动破拱装置,改进驱动传输机构。构建仿真模型进行性能验证,对比优化前后堵料情况、流动速度和压力分布。最后通过正交试验优化关键参数,确定最佳参数组合,使防堵率超 98%,能耗降低 22%,给料效率提升 30%,显著增强设备性能。

**关键词:** 有机固废; 给料设备; 防堵结构; 优化设计; 料流稳定性

**引言:** 有机固废给料设备在环保与资源回收领域应用广泛,然而堵料问题严重制约其性能与效率。堵料成因复杂,涉及物料特性与设备结构交互作用。现有给料设备防堵结构存在诸多问题,如给料通道设计不合理、扰动破拱装置效能不足、驱动传输机构适配性差等。为解决这些问题,需对防堵结构进行优化设计。本文深入分析堵料成因与现有结构问题,提出针对性优化方案,涵盖给料通道、自适应扰动破拱装置及驱动传输机构等方面,并通过构建仿真模型、开展性能分析与参数优化,验证优化结构的有效性,旨在为有机固废给料设备的稳定高效运行提供理论支持与实践指导。

## 1 有机固废给料过程堵料成因分析

有机固废给料过程中的堵料现象是多种因素交互作用的结果,并非由单一因素引发,而是物料特性与设备结构之间复杂交互的体现。通过深入对给料过程进行动态监测以及详细机理分析,可将堵料成因精准归纳为以下三类,且这三类成因彼此关联、相互影响。(1)是物料黏结堵料。有机固废中包含的厨余成分、畜禽粪便等富含大量亲水性物质,当其含水率超过 50%这一临界值时,物料的黏性显著增强,极易吸附于设备内壁以及运动部件表面。随着给料过程的持续推进,黏结在设备表面的物料不断累积,致使给料通道的截面面积逐渐缩小,最终引发堵塞。不仅如此,在物料的挤压与输送环节,由于物料与设备部件之间以及物料颗粒之间相互摩擦产生热量,会进一步提升物料的黏性,使得黏结堵料的形成速度加快。(2)为通道卡阻堵料。有机固废中常常混杂着块状、纤维状等形状不规则的杂质,例如树枝、塑料碎片、骨头等。当这些杂质的尺寸与给料通道的关键截面尺寸不匹配时,就容易在进料口、弯道、出口等相对狭窄的部位发生卡阻现象。一旦出现卡阻,

后续物料会持续堆积在卡阻部位,形成局部堵塞,进而导致整个给料通道的物料输送中断。(3)是料流不均堵料。当给料量出现较大波动,或者物料在给料通道内的分布不均匀时,会出现局部物料浓度过高的情况。此时,物料颗粒之间的内摩擦力增大,料流速度降低。在重力与摩擦力的共同作用下,物料容易在通道底部或者拐角处堆积,逐步形成稳定的堆积体,最终引发堵料<sup>[1]</sup>。

## 2 现有给料设备防堵结构存在的问题

### 2.1 给料通道结构设计不合理

现有多数有机固废给料设备的通道采用直壁矩形或圆柱形结构,通道内壁光滑度不足,且拐角处多为直角设计。直壁结构无法为物料提供导向性的流动助力,直角拐角易形成物料滞留区,物料在滞留区持续黏结、堆积,最终引发堵料。同时,通道截面尺寸多为固定值,无法根据物料特性(如颗粒大小、含水率)的变化进行适应性调整,当物料颗粒较大或黏性增强时,通道截面不足以满足顺畅给料需求,堵料风险显著提升。

### 2.2 扰动破拱装置效能不足

现有防堵结构中常用的振动式、刮板式扰动破拱装置存在明显缺陷。振动式装置多采用单一频率的振动模式,无法针对不同类型的堵料(黏结堵料、卡阻堵料)进行精准扰动,对于黏性较强的物料,振动能量易被物料吸收,破拱效果不佳;同时,持续的高频振动会对设备主体结构造成疲劳损伤,缩短设备使用寿命。刮板式装置的刮板与通道内壁之间存在间隙,无法彻底清除黏结的物料,且刮板运动轨迹固定,对于通道拐角、死角部位的物料难以触及,长期运行后仍会出现物料堆积堵料的现象<sup>[2]</sup>。

### 2.3 驱动传输机构适配性差

给料设备的驱动传输机构(如螺旋输送机的螺旋叶

片、皮带输送机的输送带)是决定料流稳定性的关键部件。现有螺旋叶片多采用等螺距、等直径设计,在输送黏性物料时,叶片表面易黏结物料,导致实际输送量下降,物料在叶片之间堆积;同时,等螺距设计无法实现物料的逐步推进与解压,易在出料端形成物料挤压,引发堵料。皮带输送机的输送带表面摩擦力不足,当输送含水率较高的有机固废时,物料易在输送带上打滑、堆积,无法实现稳定传输;此外,输送带的张紧度无法根据物料重量的变化进行实时调整,进一步加剧了料流不均的问题。

### 3 有机固废给料设备防堵结构优化设计方案

#### 3.1 给料通道结构优化设计

为解决现有给料通道结构存在的易堵料问题,从截面形状、内壁处理以及拐角设计三个关键方面展开针对性优化。(1)在截面形状方面,摒弃传统单一截面形式,将通道截面设计为变截面梯形结构。具体而言,进料端截面尺寸设计得相对较大,随后逐步向出料端收缩。这种结构能够形成具有导向性的料流通道,利用截面变化所产生的压力差,为物料流动提供额外动力,有效减少物料在通道内的滞留现象,促进物料顺畅输送。

(2)内壁处理上,采用先进的等离子喷涂技术,在通道内壁均匀覆盖一层聚四氟乙烯涂层。聚四氟乙烯涂层具备卓越的防黏特性与良好的耐磨性,可大幅降低物料与内壁之间的摩擦系数,从根源上减少物料黏结内壁的可能性,保障通道内壁的清洁与畅通。(3)对于通道拐角设计,将原有的直角拐角优化为圆弧过渡结构。圆弧半径的确定依据最大物料颗粒尺寸的1.5-2倍,如此设计能够彻底消除拐角处的物料滞留区,避免物料在拐角部位因堆积而发生卡阻,确保物料在整个给料通道内能够连续、稳定地流动,提高给料设备的运行效率与可靠性。

#### 3.2 自适应扰动破拱装置设计

为切实增强扰动破拱作业的针对性与实际效能,精心设计了一款自适应扰动破拱装置。此装置主要由变频振动模块和可伸缩旋转刮料模块构成,能够针对不同类型的堵料状况实施精准处理。(1)变频振动模块选用了可调频率振动电机,其频率调节范围设定在10-50Hz。该模块具备根据物料含水率以及黏结程度进行实时调整振动频率的能力。当面对高含水率的黏结物料时,能够迅速切换至高频振动模式,凭借高频振动产生的强大能量,有效破坏物料内部紧密的黏结结构,使物料恢复流动性。而对于颗粒尺寸较大、易造成卡阻的物料,则采用低频大振幅振动模式,通过增大振幅来提升破拱冲击力,确保能够有效击碎卡阻物料,恢复通道畅通。(2)

可伸缩旋转刮料模块由伺服电机驱动刮料臂进行旋转运动,刮料臂末端安装有可伸缩刮料板。刮料板与通道内壁紧密贴合,并且能够依据通道截面的变化自动调整伸缩长度。在旋转过程中,可实现对通道内壁以及拐角部位的全方位刮料作业,将黏结在内壁上的物料彻底清除,避免因物料残留而再次引发堵料问题,保障给料设备的稳定运行。

#### 3.3 驱动传输机构优化设计

对于螺旋输送机的驱动传输机构,创新性地采用变螺距螺旋叶片设计。在进料端,设置较大的螺距,这一设计能够使物料迅速被接纳进入输送通道,有效防止物料在进料口出现堆积现象,保障进料的顺畅性。(1)中间段采用渐变螺距,随着螺距的逐渐变化,可实现对物料的逐步压缩与推进,减少物料颗粒之间的空隙,增强料流的紧密性和稳定性,降低物料在输送过程中出现离析、分层等问题的概率。出料端则设置较小的螺距,能够降低物料的出料速度,避免因出料过快而在出料口形成物料拥堵,确保出料的平稳有序。此外,在螺旋叶片表面应用耐磨防黏涂层,可显著降低物料与叶片之间的摩擦力和黏附性,进一步减少物料黏结情况的发生。

(2)针对皮带输送机的驱动传输机构,对输送带表面结构进行优化,采用防滑凸点设计,增大输送带与物料之间的摩擦力,有效避免物料在输送过程中出现打滑现象。同时,增设自动张紧装置,通过压力传感器实时精准监测物料重量变化,利用液压驱动机构自动调整输送带的张紧度,保证输送带始终处于最佳张紧状态,维持料流的稳定输送。另外,在输送带上方增设可调节角度的物料导向板,根据物料分布情况灵活调整导向角度,实现物料在输送带上的均匀分布,防止局部物料浓度过高导致输送不畅<sup>[1]</sup>。

### 4 优化结构的性能验证与参数优化

#### 4.1 仿真模型构建与参数设定

为精准验证优化结构在防堵方面的实际性能,运用离散元法(DEM)构建有机固废给料设备的仿真模型。

(1)在物料选取上,挑选具有代表性的典型有机固废物料,即含水率为45%的厨余与农林废弃物混合物作为仿真所用物料。对于物料颗粒参数,严格依据实际物料特性进行设定:密度设定为 $1200\text{kg/m}^3$ ,泊松比取0.3,弹性模量为 $2\times 10^5\text{Pa}$ ,颗粒尺寸分布范围在5~50mm之间,以此确保仿真物料与实际物料特性高度相符。(2)分别构建优化前和优化后的给料设备仿真模型,在构建过程中,保证模型的关键参数一致。其中,给料通道长度设定为2m,进料口宽度为0.5m,给料量统一设定为 $5\text{t/h}$

h. 在开展仿真工作时,着重监测物料在给料通道内的流动速度,以此判断物料输送的顺畅程度;同时监测压力分布情况,了解物料在通道内不同位置所承受的压力大小;此外,还需监测堵料发生概率,通过对比优化前后堵料发生概率的变化,直观评估优化结构在防堵方面的效果。

#### 4.2 防堵性能仿真分析

通过详细的仿真模拟,获取了优化前后给料设备的运行数据。仿真结果表明,优化前的给料设备在运行至120s时,便出现了较为明显的堵料情况。堵料部位主要集中在通道拐角处以及出料口区域,物料在通道内的流动速度极不稳定,波动幅度较大,最大波动幅度达到了35%,这严重影响了物料的正常输送。(1)与之形成鲜明对比的是,优化后的给料设备在长达300s的运行时间内,均未出现堵料现象。物料流动速度保持稳定,波动幅度显著降低,被控制在8%以下,这充分说明优化后的结构能够有效保障物料的顺畅流动。(2)从压力分布的角度分析,优化后的通道内物料压力分布均匀,不存在局部高压堆积区域,为物料的稳定输送提供了良好的条件。而优化前的通道在拐角处存在明显的高压堆积区,压力值较优化后高出40%以上,这种局部高压极易导致物料堆积,是引发堵料的主要原因之一。此外,自适应扰动破拱装置发挥了重要作用,其变频振动模式可有效破坏物料的黏结结构,可伸缩旋转刮料模块能彻底清除通道内壁黏结的物料,进一步提升了设备的防堵效果。

#### 4.3 关键参数优化

为进一步提升优化结构的综合性能,以实现高防堵率和低能量消耗为目标,对关键参数展开系统性优化。(1)经过综合考量,选取变频振动模块的振动频率、可伸缩刮料模块的旋转速度以及变螺距螺旋叶片的螺距渐变系数作为优化变量。这些变量对设备的防堵效果和能耗水平有着直接影响,是优化工作的关键所在。(2)采

用正交试验法设计科学合理的试验方案,该方法能够在保证试验全面性的同时,有效减少试验次数,提高优化效率。通过一系列严谨的试验,对不同参数组合下的设备性能进行详细测试和分析。(3)试验结果显示,当变频振动模块的振动频率设定为35Hz、可伸缩刮料模块的旋转速度为15r/min、变螺距螺旋叶片的螺距渐变系数为0.6时,优化结构取得了最佳效果。此时,优化结构的防堵率高达98%以上,有效避免了物料堵塞问题的发生;同时,能量消耗降至最低,较优化前降低了22%,显著降低了设备的运行成本。此外,设备的给料效率提升了30%,料流稳定性也得到显著增强,为有机固废给料设备的稳定高效运行提供了有力保障。

#### 结束语

综上所述,通过对有机固废给料设备堵料成因的深入剖析以及现有防堵结构问题的精准识别,我们提出并实施了一系列针对性优化设计方案。从给料通道结构的优化,到自适应扰动破拱装置的创新设计,再到驱动传输机构的改进,每一步都紧密围绕提升设备防堵性能展开。仿真分析与参数优化结果表明,优化后的结构在防堵率、能量消耗、给料效率和料流稳定性等方面均取得显著成效。这不仅为解决有机固废给料过程中的堵料难题提供了切实可行的方案,也为相关设备的设计与优化提供了有益的参考。未来,我们将持续关注设备运行状况,进一步探索优化空间,推动有机固废给料设备向更高效、更稳定的方向发展。

#### 参考文献

- [1]江洁芳.危废混合物的鉴别与分类技术研究[J].皮革制作与环保科技,2023(24):165-167.
- [2]王春燕.基于环境保护背景下危险固废处置和管理探析[J].资源节约与环保,2021(01):122-123.
- [3]张巖峻.我国工业固废处理中存在的问题及应对措施探讨[J].皮革制作与环保科技,2021,2(08).