

仓式泵气力输送设备在长距离物料输送中的应用研究

张付栋

(山东龙诚气力输送工程设备有限公司, 山东 济南 250200)

摘要 仓式泵气力输送设备作为一种高效、环保的物料输送方式,在长距离输送领域展现出巨大潜力。本文概述了仓式泵气力输送设备的工作原理、结构特点和设备分类,并分析了影响其长距离输送性能的关键因素,包括物料特性、输送参数、管道布置和设备选型,综述了仓式泵气力输送技术的研究进展,重点介绍了新型仓式泵结构设计、输送过程数值模拟和智能控制系统开发等方面的最新成果,并探讨了仓式泵气力输送设备在长距离物料输送中的应用现状和发展趋势,以期对相关领域的研究和应用提供参考。

关键词 仓式泵;气力输送;长距离输送;物料特性

中图分类号:TH3

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.13.004

0 引言

在工业技术不断进步和物料输送需求越来越多样化的背景下,仓式泵气力输送技术以其高效、环保的输送方式逐渐引起了人们的普遍重视。该技术利用气流的力使物料悬浮和传输于管道内,布置灵活、传输距离远、耗能少、环保效果佳。尤其在长距离物料输送方面,仓式泵气力输送技术表现出了明显的技术优势和应用前景。为此,文章将对仓式泵气力输送技术研究进展及其在远距离物料输送方面的应用进行深入研究,以期能够对相关产业起到有益借鉴和指导作用。

1 仓式泵气力输送设备概述

1.1 工作原理

仓式泵气力输送设备工作原理是根据压力差引起的气流动力来实现对物料进行连续或者间歇运输。具体地说,装置主要包括泵体、进气阀、排气阀、料斗和控制系统等关键部件^[1]。在工作过程中,通过控制系统启动进气阀,使得高压气体(通常是压缩空气)迅速进入泵体内部,形成高压区域。当高压气体源源不断地流入泵体内时,泵体内压力逐渐增大,使物料由料斗压到管道中。同时,排气阀始终处于闭合状态,保证了高压气体不被预先泄漏,进而保障了材料的高效运输。泵体中物料全部压入管道时,控制系统将进气阀关闭、排气阀随即开启。这时泵体内高压气体被快速排出并形成低压区域,同时管道内物料在气压差影响下不断前移^[2]。

1.2 结构特点

仓式泵气力输送装置的结构特点主要表现为它的巧妙设计和对物料的高效处理。一是在泵体设计方面,仓式泵一般为圆柱形或者圆锥形,此种设计既方便了材料的加载和运输,又有效地降低了材料在泵体中的残留量,提高了运输效率。泵体的选材也很关键,一般都是耐磨、耐腐蚀材料,这样才能保证设备长时间工作时稳定可靠^[3]。二是进气阀和排气阀是仓式泵气力输送设备中的关键零件,它们在结构设计上也一样重要。进气阀一般采用响应快、密封性能好的设计来保证高压气体能快速稳定地进入泵体。但排气阀强调快速启闭能力和密封性能好,防止高压气体传输时泄漏,确保材料高效传输。

1.3 设备分类

仓式泵气力输送设备根据结构特性、工作原理和应用场景可以详细地分为很多类型。一是仓式泵气力输送设备按结构特性分为单仓泵和双仓泵两类。单仓泵具有设计简单、适合加工流动性比较好且不容易卡死的材料等特点,其原理是采用单个泵体来进行材料的持续或者间歇运输。双仓泵的设计相对更为复杂,它由两个独立的泵体组成,并通过交替操作来实现物料的高效传输,特别适用于处理黏性较高和容易堵塞的物料,有效地避免单一泵体运输该类材料过程中可能发生的失效问题^[4]。二是仓式泵气力输送设备按其工作原理又分为正压式和负压式。正压式仓式泵是在泵体中通入高压气体形成正压环境来带动物料沿着管

道前进。这类装置适合远距离、大流量物料输送场景。负压式仓式泵的工作原理是抽取管道中的气体，从而创造一个负压的环境，这样可以吸引物料进入管道并完成物料的传输。负压式设备对易挥发和有毒有害物料的处理有显著优点，可有效地防止物料泄漏，保障操作人员的安全。

2 影响长距离输送性能的关键因素

2.1 物料特性

材料的粒度、密度、形状、湿度、摩擦系数和磨蚀性都会显著影响输送过程。一是材料的粒度和密度直接决定着材料在管道内的流动性能。粒度过大或者密度过大的物料在运输过程中容易发生堵塞、增大运输阻力、降低运输效率等。反之，粒度中等、密度小的材料流动性更好，利于实现远距离、高效率运输。二是材料的外形对输送性能亦有着显著的影响^[5]。外形不规则材料在运输过程中容易相互卡阻造成运输不畅等问题，且形状规则材料对管道形状有较好的适应性，降低了输送时的阻力。另外，材料的湿度亦是不可忽视的影响因素。湿度过大的材料容易在管道中黏附和结块而造成运输困难，且湿度中等的材料能够较好地维持流动性，利于输送过程平稳进行。

2.2 输送参数

输送参数又是影响仓式泵气力输送设备远距离输送性能的关键因素，它涉及气流速度、压力、输送量及输送时间诸多方面。一是气流速度对输送效率和能耗有着至关重要的作用。适当增大气流速度能强化物料悬浮和输送能力，但是气流速度过大会造成能耗增大和管道磨损，甚至有可能诱发管道中物料激烈碰撞磨损，所以需要根据材料的性质和输送距离合理地设置气流速度才能使输送效率和能耗达到均衡。二是压力参数对于输送性能的影响也是显著的。正压输送能提供充足的驱动力以保证管道内物料的平稳运输，适合长距离大流量运输场景。且负压输送适合于材料密封性要求高、易挥发或者有毒有害材料的运输，通过提取管道中气体产生负压有效避免材料泄漏。

2.3 管道布置

管道布置是决定仓式泵气力输送设备长距离输送性能好坏的关键因素，管道布置是否合理直接影响着输送效率、能耗和设备维护成本。一是管道长度和直径需要根据输送距离和物料特性合理地设计。太长的管道将使输送阻力增大，造成能耗上升；而且太短的管道不一定能适应长距离输送。同时管道直径选择还需要综合考虑物料流量和输送速度等因素，才能保证

管道中物料稳定悬浮和运输。二是管道弯曲程度和角度对于输送性能也有显著影响。弯曲过大会使输送阻力增大、输送效率下降，甚至会造成管道中材料的阻塞。所以，在管道布置中，要尽可能减少不必要的弯曲和维持管道直线性来减小输送阻力。另外，管道在材质和连接方式上还需要依据物料特性和输送环境来选择。对容易磨损或者腐蚀性较强的材料，需要选择耐磨耐腐蚀管道材质来提高其使用寿命。

2.4 设备选型

设备选型是保证仓式泵气力输送设备长距离输送高效平稳运行的关键环节，需要考虑物料特性，输送距离、输送量、能耗和维护成本等诸多因素。一是根据材料的粒度、密度、湿度和磨蚀性特点选择适合仓式泵型号。对粒度和密度都比较大的材料，选择破碎和输送能力比较强的仓式泵是比较合适的；对易挥发、有毒有害或者湿度大的材料，需要选择密封性能好，能有效阻止材料泄漏的负压仓式泵。二是综合考虑输送距离和输送量确定仓式泵规格和数量。长距离输送一般要求输送压力大和输送效率高，所以，需要选择规格比较大、性能比较平稳的仓式泵。同时根据输送量要求合理分配仓式泵数量，保证输送过程连续稳定。

3 仓式泵气力输送技术研究进展

3.1 新型仓式泵结构设计

近年来，随着工业技术不断进步和物料输送需求越来越多样化，新型仓式泵结构设计已经成为仓式泵气力输送技术的一个重要研究方向。该领域研究的进展主要表现为仓泵结构优化和创新，其目的是提高输送效率、降低能耗、提高设备适应性和可靠性。一方面，研究人员引进先进流体力学仿真技术对仓泵内部流场做出准确仿真和分析以指导仓泵结构优化设计。如通过调节进气口和排气口位置和形状来优化泵体内流道设计以降低气流阻力、增加物料悬浮和输送能力等。另外，使用耐磨、耐腐蚀等高性能材料和优化仓泵密封结构是增强设备耐久性和稳定性的重点举措。另一方面，新型仓式泵在结构设计上也着眼于提升设备智能化和自动化程度。通过集成传感器、控制器和执行机构实现对仓泵运行状态进行实时监控和智能调控。根据物料特性和输送需求自动调整进气量和排气量来维持输送时压力和流量平稳。

3.2 输送过程数值模拟

在对仓式泵气力输送技术进行研究时，对输送过程进行数值模拟已经成为一个重要的研究方法。研究者利用计算流体力学（CFD）等前沿的数值技术，成

功地模拟和分析了物料在管道内的浮动、流动以及与管道壁面的互动等复杂行为,从而对输送机制有了深刻的认识,实现了输送参数的优化和输送效率的提升。在数值模拟中,关键是建立精确的数学模型及边界条件。对仓式泵气力输送过程进行数值模拟时,需要考虑物料颗粒大小分布、密度、形状、气流速度、压力、温度等多种因素共同作用。通过构建合适的颗粒与流体互动模型,例如曳力模型和碰撞模型,可以更准确地描述物料颗粒在气流中的动态行为。另外,通过数值模拟可以对运输过程中压力损失、物料沉积和管道磨损进行预测。研究人员对上述现象进行仿真分析后,可优化管道布局、调整输送参数从而达到降低能耗,预防堵塞和磨损以及提高输送系统稳定可靠性的目的。

3.3 智能控制系统开发

研制智能控制系统是仓式泵气力输送技术向自动化、智能化方向发展的关键一步。本系统的目标是通过融合先进传感器技术、数据处理算法和自动控制策略来实现输送过程实时监控、精准调控和故障预警,从而显著提高输送效率,降低能耗,提高系统稳定性和安全性。研制智能控制系统时,最重要的任务就是建设一个综合监测网络。通过对仓式泵、管道和关键部件设置高精度传感器对运输过程中压力、流量、温度和振动等关键参数进行实时采集,并对系统提供详细的数据支撑。然后,利用大数据处理和机器学习算法对其进行深度挖掘和分析,从而揭示出传输过程中潜在的规律和异常模式。依据监测和分析的数据,智能控制系统具备自动调节输送参数的能力,例如气流的速度和进气量等,目的是提升输送效能。同时该系统具有故障预警和自我修复功能。该系统对历史故障数据进行学习和分析,可以预测出可能出现的故障点、提前发出报警信号、试图采取调整运行策略等自我修复措施、启动备用设备等来尽可能减少因故障而给输送过程造成的损失。另外,该智能控制系统支持远程监控和故障诊断功能。操作人员可以在远程终端上实时观察输送系统运行情况、接收故障预警信息、远程进行故障诊断和排除操作等,使系统可维护性和灵活性大大提高。

4 仓式泵气力输送设备在长距离物料输送中的应用

仓式泵气力输送设备已在远距离物料输送领域显示出广阔的应用前景和明显的技术优势。该类设备以高效、环保、灵活等输送特性成为许多工业领域中物料输送的优先选择。远距离物料输送时,采用仓式泵气力输送设备可以克服传统输送方式的许多局限性。

如仓式泵气力输送和机械输送方式相比较不需要复杂传动机构来降低设备故障点和维护成本。同时,其输送管道布置灵活,可跨越复杂地形和建筑结构实现材料远距离连续运输。另外,仓式泵气力输送设备对环保有明显的优越性。本装置通过封闭管道进行运输,有效避免了物料泄漏和粉尘污染等问题,满足了现代工业中绿色、环保生产需求。通过对输送参数,例如气流速度和压力等进行精准地调节,可以极大地降低能源消耗和排放量,从而达到节能和减少排放的目的。从应用领域来看,仓式泵气力输送设备已经被广泛地应用到煤炭、电力、化工、建材等众多行业中。本装置应用于煤炭行业煤粉长距离输送以提高生产效率和能源利用率;在电力行业,它又被用来运输和再利用粉煤灰、脱硫石膏和其他废弃物,有利于资源循环和节约;在化工和建材行业,仓式泵气力输送设备又被用来输送和处理多种粉粒状物料,以适应生产过程多样化的需要。

5 结束语

本文通过深入探究仓式泵气力输送技术研究进展及其在远距离物料输送方面的应用,认为新型仓式泵结构设计优化和创新,可提升输送效率和设备适应性;对输送过程进行数值模拟,可为优化输送参数和预测输送性能等方面提供强有力的支撑;该智能控制系统可实现输送过程实时监控,精准调控及故障预警等功能,能显著提高输送系统运行稳定性和安全性。从应用角度来看,仓式泵气力输送设备对于远距离物料输送表现出广阔的应用前景和明显的技术优势,从而为相关产业提供更高效、更环保和更经济的物料运输解决方案。

参考文献:

- [1] 潘自力,郭凌坤,白岑,等.一种墙面用腻子粉生产线气力输送仓式泵:CN202310298034.2[P].2025-03-06.
- [2] 吕鑫宽,张叶新,申健,等.仓式泵气力输送设备在长距离物料输送的研究与应用[J].有色设备,2023,37(04):61-65.
- [3] 夏朝阳,李永祥,徐雪萌,等.仓式泵气力输送小麦颗粒流化特性数值模拟[J].包装与食品机械,2023,41(02):69-73.
- [4] 贺关丽,王秦越,许宇翔,等.基于正负压一体式的粉体仓泵气力输送系统[J].湖州师范学院学报,2023,45(04):27-32.
- [5] 夏朝阳,李永祥,徐雪萌,等.小麦气力输送流场颗粒流化特性数值模拟[J].包装工程,2023,44(13):188-196.