

引用格式:袁朝.离心式渣浆泵串联输送技术在矿冶工程中的研究及应用[J].有色设备,2025,39(5):68-72.

YUAN Zhao. Application and research of centrifugal slurry pump series conveying technology in mining and metallurgical engineering[J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2025, 39(5): 68-72.

离心式渣浆泵串联输送技术在矿冶工程中的研究及应用

袁朝^{1,2}

(1. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038;

2. 尾矿库灾害防控技术与装备国家矿山安全监察局重点实验室, 北京 100038)

[摘要] 在矿冶工程领域,离心式渣浆泵作为常见的输送设备被广泛应用。当通过管道输送固液两相流浆体需要较高输送压力时,单台渣浆泵常难以满足要求。为有效提升输送扬程,可采用将多台渣浆泵组成串联泵组型式进行输送。本文通过介绍离心式渣浆泵串联泵组的原理、型式,深入分析了串联技术的难点,并提出了针对性的解决对策;同时阐述其在工程化中的应用情况,进而探索并提出了未来的技术发展方向。研究成果为离心式渣浆泵串联泵组的合理应用及技术发展提供了参考,有望进一步提升矿冶工程中固液两相流浆体的输送效果与效率。

[关键词] 离心式渣浆泵; 矿冶; 串联泵组; 串联技术; 流量; 扬程; 水力输送

[中图分类号] TH38; TF813

[文献标志码] A

[文章编号] 1003-8884(2025)05-0068-05

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2025.05.009

0 前言

随着我国经济的持续增长,各行业对矿产资源的需求日益增长。矿山作为资源供给的核心支柱,对于原矿、精矿和尾矿的输送等方面提出了更高的要求。在此背景下,离心式渣浆泵(以下简称“渣浆泵”)多级串联输送技术已成为矿冶行业实现固体物料水力输送的关键技术手段,发挥着不可或缺的作用。

离心式渣浆泵是一种可用于输送固液两相混合物的泵,广泛应用于矿山、冶金、建材等行业,输送物料包括粉末、颗粒、泥浆、浆料等。在应用过程中,单台渣浆泵的性能通常会受到流量和扬程的限制,特别是当要将物料进行长距离管道输送或输送至高差较大的高处时,单台渣浆泵通过增加功率和转速等方式已难以满足要求。因此,将多台渣浆泵组成串联泵组可以有效地提高输送扬程,从而满足输送要求。串联泵组的本质是将多个泵连接起来,将前一级泵的出口作为后一级泵的进口。本文旨在结合一个大流量渣浆泵 4 级串联工程案例介绍渣浆泵串联技术在矿冶行业浆体管道输送工程中的应用,为矿

冶行业浆体管道输送技术提供新的解决方案和思路。

1 离心式渣浆泵串联输送工作原理

1.1 离心式渣浆泵工作原理

离心式渣浆泵的工作原理在于:通过离心力(即泵的叶轮旋转)的作用,增加固、液混合介质(矿浆)的能量,将电能转化为介质的动能和势能,从而实现矿浆的输送。

1.1.1 离心力作用机制

当渣浆泵启动以后,泵壳内的矿浆会由叶轮的叶片带动一起旋转,在离心力的作用下,矿浆作旋转前进运动,进而流出叶轮。矿浆在从叶轮进口流向叶轮出口的过程中,由于能量的转换其速度和压力均增加,从叶轮内流出的矿浆经过泵壳流道再从排出管排出,这时叶轮进口处则因矿浆的排出而形成真空,进口处的矿浆在大气压力的作用下被压入叶轮的进口。于是,旋转着的叶轮连续不断地吸入和排出矿浆,从而形成连续的矿浆流。

离心力的大小受到叶轮转速、叶轮直径等因素的影响。一般来说,叶轮转速越高、直径越大,离心

[收稿日期] 2025-06-26

[第一作者] 袁朝(1985—),男,山东曹县人,高级工程师,大学本科,主要从事尾矿咨询设计和浆体输送方面的研究工作。

力就越大,输送矿浆的能力也就越强。

1.1.2 渣浆泵性能特点

渣浆泵具有流量范围广的特点,通常其流量在 $100 \sim 10\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。例如在一些大型矿冶工程中,渣浆泵的流量可以达到每小时数千立方米甚至更高。这使得渣浆泵能够在短时间内输送大量的矿浆,提高生产效率。

同时,渣浆泵还具有耐磨蚀的性能特点。由于矿浆中通常含有大量的固体颗粒,这些颗粒在输送过程中会对泵的过流部件产生磨损和腐蚀。为了应对这种情况,渣浆泵的过流部件通常采用耐磨材料制造,如高铬合金等。据统计,采用耐磨材料制造的渣浆泵过流部件的使用寿命可比普通材料提高数倍甚至数十倍。

此外,渣浆泵还具有压力平稳、寿命长等特点。渣浆泵在运行过程中,能够保持较为稳定的压力输出,确保矿浆能够顺利输送到目的地。而且,由于采用了耐磨材料和先进的设计制造技术,渣浆泵的使用寿命较长,可以减少设备的更换和维修成本。

1.2 串联输送技术原理

离心式渣浆泵串联输送技术主要是通过将多台离心式渣浆泵依次连接,实现高扬程输送。其原理基于每台离心式渣浆泵之间的协同作用,将前一台泵输出的矿浆作为后一台泵的输入,从而逐步提高输送矿浆的总扬程。

1.2.1 扬程叠加机制

在离心式渣浆泵串联系统中,每台泵都会对矿浆施加一定的扬程。当多台泵串联时,总扬程等于各台泵扬程之和,例如:若单台离心式渣浆泵的扬程为 H_1 ,2台相同型号的离心式渣浆泵串联后,总扬程 $H=2H_1$ 。这种扬程叠加机制使得串联系统能够满足长距离、高落差的输送需求。对于矿冶工程中需要将矿浆输送到较远、较高位置的情况,串联输送技术可有效地解决扬程不足的问题,极大拓展了离心式渣浆泵的应用范围。

某大型矿山尾矿输送 $2\,800 \text{ m}^3/\text{h}$ 离心式渣浆泵4级串联配置图,如图1所示。

1.2.2 流量与压力变化

在离心式渣浆泵串联系统中,流量一般保持相对稳定。由于串联系统中各台泵的流量基本相同,因此,总流量与单台泵的流量大致相等。然而,随着扬程的增加,系统中的压力会发生变化。在串联系

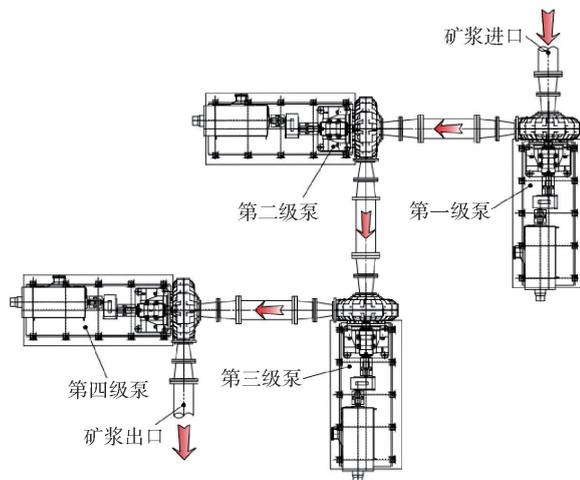


图1 4级串联泵组平面示意

Fig.1 Schematic plan of four stage series pump unit

注:图中箭头指示方向分别为4台泵的进口和出口方向,用于控制物料的流动方向。

统中,后一台泵的入口压力等于前一台泵的出口压力减去管道损失。因此,随着泵的串联级数增加,管道中的压力也会逐渐增大。这种压力变化对管道系统的设计和安装提出了更高的要求。例如,需要选择耐压能力更强的管道材料,以确保系统的安全运行。同时,压力的变化会影响到泵的密封性能和轴承的承载能力。如果密封不严或轴承无法承受过高的压力,可能会导致泄漏、轴封损坏、轴承发热等问题。因此,在设计和应用渣浆泵串联系统时,必须充分考虑流量与压力的变化,采取相应的措施来确保系统的稳定运行。

2 离心式渣浆泵串联型式及其特点

2.1 直联串联型式

直联串联型式是指相邻两级离心式渣浆泵的上一级泵的出口与下一级泵的进口之间管道呈直线型布置,见图1。这种型式的特点在于其矿浆流道直通,直线连接方式避免了弯头结构,消除了因弯头造成的湍流现象和局部阻力损失,运行效率较高。从布局来看,该型式的泵组排列规整有序,泵体间管道直线布局使整体结构紧凑,有效减少了管道交叉干扰,既方便安装时的定位,又便于后期维护检修。但也正因为直线形管道布置与紧凑的泵组结构,使得直联串联型式对安装空间要求较高,需预留充足的空间以容纳各级泵体与直线管道,确保安装与运行不受空间限制。

2.2 L 型串联型式

L 型串联型式是指相邻两级离心式渣浆泵的上一级泵的出口与下一级泵的进口之间管道呈 L 型布置,见图 2。这种结构的特点是可以改变浆体的流向,使得泵组在空间布局上更加灵活。L 型串联型式的优点在于能够适应复杂的管路布置,例如在一些场地受限的情况下,可通过 L 型的设计来合理安排泵的位置,减少管路的弯曲和阻力。此外,L 型串联还可以在在一定程度上平衡泵组在运行过程中的受力情况,减少因受力不均而导致的设备损坏。然而,L 型串联型式也存在一些局限性,比如其结构相对复杂,制造和安装成本较高。在串联过程中,由于浆体流向的改变,可能会产生局部的压力损失和漩涡,影响泵组的整体效率,而且 L 型串联对密封性能的要求也更高,一旦密封出现问题,容易导致浆体泄漏,污染环境并影响设备的正常运行。

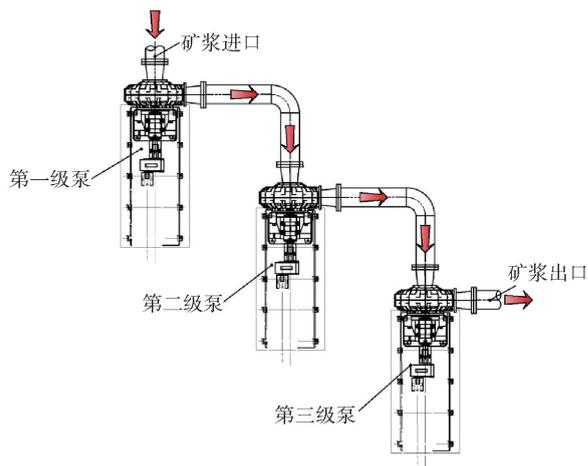


图 2 L 型串联泵组平面示意

Fig. 2 Plan schematic diagram of L-type series pump group

注:图中箭头指示方向分别为 3 台泵的进口和出口方向,用于控制物料的流动方向。

3 串联技术的难点分析与对策

3.1 流量匹配

在串联泵组中,各个泵的流量需要相互匹配,否则会导致泵组运行不稳定。由于制造误差、磨损等原因,不同泵的实际流量可能会存在差异。而且,在运行过程中,管路阻力的变化也会影响泵的流量。如果流量不匹配,可能会出现部分泵过载或欠载的情况,影响泵的寿命和整个系统的效率。

采用高精度的制造工艺和质量控制手段,尽量减小泵的制造误差,可以确保各个泵的流量特性相近。在安装前,对每个泵进行性能测试,根据测试结果进行筛选和匹配。在运行过程中,安装流量监测装置,实时监测各个泵的流量,并通过调节阀门或变频器等方式来调整流量,使其保持在合理的范围内。此外,可以采用智能控制系统,根据管路阻力的变化自动调整泵的转速和流量,实现流量的动态匹配。

3.2 压力平衡

串联泵组中,各级泵所承受的压力不同,如果压力不平衡,会导致泵的密封件损坏、叶轮受力不均等问题。特别是在启动和停止过程中,由于压力的瞬间变化,更容易对设备造成损坏。此外,浆体在管路中的压力分布不均匀也会影响输送效果,可能会产生气蚀、堵塞等现象。

在泵的设计阶段,优化泵的结构和叶轮布置,可以使各级泵的压力分布更加合理。在安装时,确保管路连接的密封性和正确性,避免因管路泄漏或安装不当导致压力不平衡。同时,安装压力监测装置,实时监测各级泵的进出口压力,一旦发现压力异常,及时采取措施进行调整。例如,可以通过调整泵的安装高度、更换不同扬程的泵或在管路上安装减压阀等方式来平衡压力。在启动和停止过程中,采用缓慢的操作方式,逐渐增加或降低压力,减少压力冲击对设备的影响。

3.3 磨损加剧

由于离心渣浆泵输送的浆体中含有固体颗粒,在串联运行时,颗粒对泵的过流部件的磨损会更加严重。而且,随着串联级数的增加,后级泵所承受的颗粒浓度和粒度可能会更大,因为在前级泵的作用下,浆体中的颗粒可能会发生破碎和聚集。磨损加剧不仅会降低泵的性能和缩短寿命,还会增加维修成本和延长停机时间。

在泵体生产过程中,选用耐磨材料制造泵的过流部件,如高铬铸铁、陶瓷等,可以提高其耐磨性。优化泵的水力设计,减少浆体在泵内的湍流和冲击,降低颗粒对过流部件的磨损。在运行过程中,定期对泵进行检查和维护,及时更换磨损严重的部件。此外,还可以在浆体中添加适量的润滑剂或缓蚀剂,减少颗粒与过流部件之间的摩擦和腐蚀。同时,对浆体进行预处理,如过滤、沉淀等,去除其中较大的颗粒和杂质,降低对泵的磨损。

4 工程化探索与应用

离心渣浆泵串联技术在众多工程领域得到了广泛应用,例如,在矿山开采中,用于尾矿的输送和充填;在水利工程中,用于泥沙的输送等。以下列举某个矿山工程典型案例进行分析。

某大型矿山项目中矿山的尾矿产量较大,需要将尾矿输送至距离较远、位置较高的尾矿库堆存。在工程设计阶段,根据尾矿的性质、流量、扬程等参数,对泵的选型、串联级数和管路布置进行了详细设计,最终确定采用了4级大流量离心式渣浆泵串联方案。

该矿山选厂生产规模10万t/d,选厂排尾矿量85 125 t/d,尾矿全部送至尾矿库堆存。选厂配套的尾矿库位于选厂的东南方向,距离选厂约7.5 km,尾矿库较选厂位置高110 m,选厂排尾矿重量浓度为50%~55%,尾矿固体密度为 2.6 t/m^3 ,尾矿粒度为-200目占50.45%。

该矿山选厂尾矿排放量总流量约 $4\ 910 \sim 5\ 400 \text{ m}^3/\text{h}$,考虑与选厂内产线匹配,尾矿输送采用双系列两条管路输送,根据《尾矿输送试验研究报告》,单系列管道输送所需矿浆扬程 H_k 约为250 m H_2O 左右。该矿山由于选厂排尾量较大,选厂至尾矿库扬程也相对较高,输送泵选型过程中比选了隔膜泵输送方案和离心式渣浆泵串联输送方案。由于单台隔膜泵流量有限,需采用多台隔膜泵进行并联输送,其总体投资较高,单台离心式渣浆泵流量范围较大,但单台泵扬程较小,通过4级串联方案可以满足本项目扬送需求。通过比选,离心式渣浆泵串联输送方案其总投资相比隔膜泵输送方案少约12 200万元,离心式渣浆泵串联输送方案技术经济指标占有明显优势,结合上述介绍的离心式渣浆泵串联技术的特点,该工程综合考虑后采用了4级离心式渣浆泵串联方案。

该工程尾矿输送共设了16台离心式渣浆泵,每4台串联为一组,共4组,其中每2组并联为1个系列,系列内1组工作1组备用。单台离心式渣浆泵主要技术参数为: $Q=2\ 800 \text{ m}^3/\text{h}$, $H_s=56.25 \text{ m}$, $N=1\ 000 \text{ kW}$,均设变频调速。输送泵在施工安装过程中,严格按照设计要求进行操作,确保了泵组的安装质量和管路的密封性。在运行过程中,采用了先进的监控系统对泵组的运行状态进行实时监测,及时

发现和解决了流量匹配、压力平衡和磨损等问题。目前该矿山离心式渣浆泵串联泵组应用状况良好,系统运行稳定可靠,实现了尾矿的高效、稳定输送,为矿山的安全生产和环境保护提供了有力保障。

5 结论

在矿冶工程领域,随着资源需求的增长,对固液两相流浆体输送的要求日益严苛,单台离心式渣浆泵已难以满足长距离、高落差输送需求。本文围绕离心式渣浆泵串联输送技术展开探究,为解决相关输送难题提供了有力支撑。

通过理论剖析与实践验证,本文介绍离心式渣浆泵串联输送的工作原理,为系统设计提供了理论依据。

1)对比离心式渣浆泵直联串联和L型串联两种型式发现,直联串联虽运行效率高、便于安装维护,但对安装空间要求高;L型串联空间布局灵活、能平衡受力,却存在结构复杂、成本高且易影响整体效率等问题。

2)在实际工程中,选用何种型式,需依据具体场地条件、工艺要求等综合考量选型。针对串联技术面临的流量匹配、压力平衡和磨损加剧等难题,本文分别提出了采用高精度制造、性能测试筛选、流量监测调节、优化泵体结构、确保管路密封、选用耐磨材料等可行性对策,经实践验证,能有效提升离心式渣浆泵串联泵组运行的稳定性与可靠性。

3)通过工程化探索和实践表明,离心式渣浆泵串联技术在大型矿山矿浆输送工程中投资节省显著,该串联技术通过合格的安装、操作和运行中利用监控系统监测,可实现矿浆的高效输送,为矿山安全生产提供坚实保障,显示出离心式渣浆泵串联技术在矿冶工程中的应用优势与潜力。

综上所述,离心式渣浆泵串联技术在矿冶工程领域具有广阔应用前景。在实际应用中,应结合工程特点进行合理的设计、安装与运行管理,确保泵组高效稳定运行。未来,随着工业技术的进步,该技术将在耐磨材料研发、水力设计优化、智能化控制升级及新型串联型式探索等方面持续发展,以更好地适应复杂多样的工程需求,在工业生产中发挥更重要的作用。

[参考文献]

[1] 李浩然. 渣浆泵同地串联在输送高浓度浆体中的应用

- [J]. 化工设备设计,1991(2):28-30.
- [2] 李明义. 渣浆泵串联运行的分析研究[J]. 金属矿山, 1998(10):39-41.
- [3] 侯鹏. 浅谈渣浆泵串联在尾矿输送的选型及应用[J]. 河南建材,2017(3):247-249.
- [4] 尾矿设施设计参考资料编写组. 尾矿设施设计参考资料[M]. 北京:冶金工业出版社,1980.
- [5] 钱桂华,曹晰. 浆体管道输送设备实用选型手册[M]. 北京:冶金工业出版社,1995.
- [6] 胡祥群,南永光. 常见尾矿输送泵的特点及应用[J]. 有色设备,2014(2):36-37.
- [7] 李松,李建博. 某矿山尾矿输送方式选择实践[J]. 有色设备,2020,34(6):72-74.
- [8] 胡苗. 某大型铜矿高浓度尾矿输送系统设计与实践[J]. 有色设备,2023,37(6):45-49.
- [9] 段建平,王振堂,巴红飞. 刚果(金)某选矿厂高浓度尾矿输送系统的应用实践[J]. 湖南有色金属,2019, 35(2):23-26,32.

Application and research of centrifugal slurry pump series conveying technology in mining and metallurgical engineering

YUAN Zhao

- (1. China ENFI Engineering Corporation, Beijing 100038, China;
2. Key Laboratory of Disaster Prevention and Control Technology and Equipment for Tailings Ponds National Mine Safety Administration, Beijing 100038, China)

Abstract: In the field of mining and metallurgical engineering, centrifugal slurry pumps are widely used as common conveying equipment. When conveying solid-liquid two-phase flow slurry through pipelines requires high conveying pressure, a single slurry pump often fails to meet the requirements. To effectively improve the conveying head, multiple slurry pumps can be combined into a series pump group for conveying. This article introduces the principle and type of centrifugal slurry pump series pump group, deeply analyzes the difficulties of series connection technology, and proposes targeted solutions, simultaneously elaborates on its application in engineering, and explores and proposes future technological development directions. The research results provide reference for the rational application and technological development of centrifugal slurry pump series pump sets, and are expected to further improve the conveying effect and efficiency of solid-liquid two-phase flow slurry in mining and metallurgical engineering.

Keywords: centrifugal slurry pump; mining and metallurgy; series connected pump set; serial technology; traffic; head lift; hydraulic transportation ▲