

Failure Analysis of the Hydraulic-Driven Diaphragm Metering Pump's Failure to Deliver Required Flow Rate

Xiantian Shao

Shandong Binhua New Materials Co., Ltd., Binzhou, Shandong, 256600, China

Abstract

The hydraulic-driven diaphragm metering pump is a critical piece of equipment for precise material dosing and stable conveying in chemical plants. Prolonged continuous operation often leads to issues such as insufficient or failed dosing, directly affecting the plant's stable operation. This paper analyzes this frequent failure system, identifies contributing factors—including blockage of the oil replenishment valve, failure of the exhaust valve, air accumulation in the hydraulic chamber, diaphragm damage, and operational issues with valves and pipelines—and proposes troubleshooting solutions and preventive measures tailored to the pump model. These recommendations provide technical support for rapid on-site troubleshooting, reduced downtime, and maintained production stability.

Keywords

diaphragm; hydraulic metering pump; failure to deliver full capacity; fault analysis; oil make-up valve

液压驱动隔膜计量泵不上量故障分析

邵现田

山东滨华新材料有限公司, 中国·山东 滨州 256600

摘要

液压驱动隔膜计量泵是化工装置物料精准投加与稳定输送的关键设备, 长期连续运行易出现不上量、上量不足故障, 直接影响装置平稳运行。本文针对该高频故障系统分析, 明确补油阀堵塞、排气阀失效、液压腔积气、隔膜损坏、阀件及管路操作问题等诱因, 结合机型特点给出排查处置方案与预防建议, 为现场快速排障、减少停机、保障生产稳定提供技术支持。

关键词

隔膜; 液压计量泵; 不上量; 故障分析; 补油阀

1 故障现象概述

自装置投用以来, 装置区内液压驱动隔膜计量泵在连续运行过程中, 多次出现不上量或上量不足的典型故障, 已成为影响装置稳定运行的关键设备问题。其中“不上量”表现为泵体正常运转, 但介质完全无法输送、出口流量为零, 直接造成介质输送中断, 迫使对应生产单元降负荷甚至临时停车; “上量不足”则是泵具备一定输送能力, 但实际流量远低于工艺设计值, 无法满足反应配比、药剂投加、物料传输等核心工艺需求, 导致反应不完全、产品质量波动、能耗与物料损耗上升^[1]。

该类故障频发、影响面广、排查周期长, 不仅降低生产效率, 破坏工艺稳定性, 还易引发连锁问题, 增加安全风险与运维成本。为快速定位原因、规范处置流程、减少非计划停机, 本文系统梳理故障成因、分级排查步骤、处理措施

及长效预防方案, 形成标准化处置指南, 为现场运维提供技术支持。

2 不上量故障原因及排查处理方法

2.1 补油阀堵塞

2.1.1 故障根源

补油阀是维持液压计量泵液压系统油量平衡、压力稳定的核心部件, 其堵塞或卡涩是导致不上量的最常见原因。油箱内润滑油长期运行后易出现氧化变质、乳化含水、杂质超标等问题: 氧化会使润滑油黏度上升、流动性变差, 形成胶质沉积物; 乳化则是水分混入油液后, 油液呈乳白色浑浊状态, 润滑与密封性能急剧下降; 系统内金属碎屑、密封件磨损残渣、外界灰尘等杂质, 会随油液循环附着在补油阀阀芯与球阀位置^[2]。

• 上述问题会直接导致补油阀阀芯卡涩、动作失灵, 球阀密封面因异物卡阻或长期冲刷出现磨损、划痕, 无法形成有效密封, 最终丧失补油功能。液压腔因缺油无法建立稳定工作压力, 隔膜无法正常往复做功, 介质输送能力大幅下降,

【作者简介】邵现田(1990-), 男, 中国山东滨州人, 硕士, 工程师, 从事化工设备管理与维修研究。

表现为不上量或流量持续偏低。

• 不同型号泵的补油阀安装位置不同——PM7120-S-E、PM880-S-E 型泵补油阀位于设备外部，便于直接拆解；7660-S-E 型泵补油阀集成于油箱内部，需打开油箱盖后检修。

2.1.2 排查处理

停机泄压后，按型号规范拆解补油阀，取出阀芯与阀球，用指定清洁润滑油冲洗阀腔，清除胶质与杂质。检查阀球密封面，轻微划痕可抛光修复，磨损密封失效则更换总成。同步更换变质乳化润滑油，用专用清洗剂清洗油箱及油道，避免二次污染。装配后按标准补油，手动盘车确认阀芯灵活，再开机试运行，观察流量恢复情况。

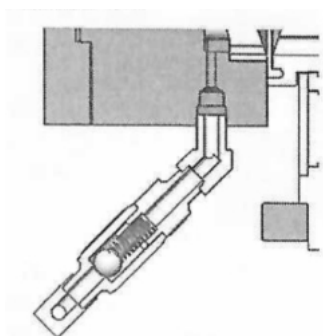


图 1 补油阀结构及安装位置示意图

2.2 排气阀（自动泄放阀）失效

故障根源：排气阀承担液压腔自动排气、维持压力建立的关键功能，其失效会直接导致气体无法排出、压力建立失败。排气阀核心密封部件 O 型圈，在长期高温、高压、介质侵蚀环境下，易出现老化硬化、破损、变形、丢失等问题，造成密封失效、内漏严重；排气阀阀芯易被油液杂质卡涩，阀座因频繁启闭出现磨损、凹痕，导致阀门关闭不严，气体持续滞留液压腔内，压力无法正常建立。

按结构形式，排气阀分为集成式与分离式两类：集成式排气阀的气体不直接排至大气，而是回流至蜗轮蜗杆油箱，空气经扰动后会通过补油阀再次进入泵头，形成“气阻循环”，是导致不上量的典型隐性原因；分离式排气阀支持手动按压阀芯排气，但排气速度慢、效率低，仅适用于小气量、小流量工况^[4]。

排查处理：

通用排气操作：拧下排气阀，从阀口持续补充清洁液压油，强制排出系统内气体。

集成式排气阀（图 a）：泵头排出气体不直接排至大气，而是回流至蜗轮蜗杆油箱，空气经蜗轮蜗杆扰动后，通过补油阀再次进入泵头，引发不上量。可以在油箱加油孔盖处开孔（图 3，以 PM7120 型泵为例）实现主动排气，同时为加油孔盖加装防护帽（需预留 1-2mm 排气间隙，避免完全扣合），防止雨水、杂质进入油箱。

分离式排气阀（图 b）：可通过手动按压阀芯排气，但

效率较低，适合小流量排气场景；

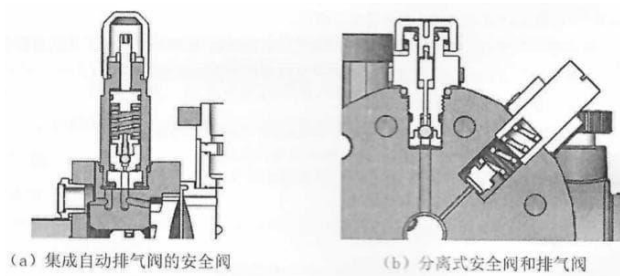


图 2 排气阀类型示意图

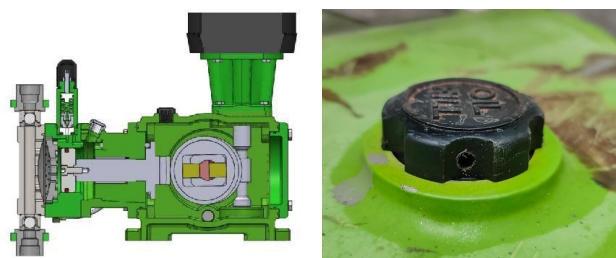


图 3 PM7120 型泵油箱加油孔盖排气改造示意图

3 液压腔内积气

故障根源：液压腔是压力传递的核心空间，安装调试、维修重启、油液更换等操作后，若排气不彻底，空气会残留于液压腔内形成气袋。气体具有可压缩性，会大幅削弱压力传递效率，导致隔膜无法获得稳定推力，介质无法被正常推送，表现为出口流量波动、压力不稳、完全不上量。积气问题在新泵投用、检修后重启、长期停机再启动时尤为高发。

排查处理：

静态排气：拆下排气阀，手动缓慢盘车（转动泵轴），同时向液压腔内连续补充液压油，利用活塞往复运动将气体推向排气阀口排出，直至盘车全程无气泡溢出、油流连续无间断；

动态排气：启动泵，将行程设定为 20% 低负荷运行，避免高负荷气蚀损伤部件；从排气阀口持续补油，观察出口介质状态，直至介质无气泡、流量稳定、压力平稳，表明积气已彻底排净。

4 隔膜损坏或密封不良

故障根源：隔膜是隔离介质与液压油、实现压力转换的核心弹性部件，分单隔膜与双隔膜结构。单隔膜在交变压力、介质腐蚀及机械磨损下，易破裂、穿孔、老化开裂，导致液压油泄漏、压力无法传递。双隔膜易出现密封件老化变形、隔膜与泵头密封面杂质残留或安装错位，引发内漏、液压压力不足。隔膜破损会造成介质与液压油互窜，影响输送稳定，产生污染与泄漏，严重时危及设备与生产安全。

排查处理：停机泄压后拆解泵头，对单隔膜检查表面完整性，查看有无裂纹、穿孔、鼓包、溶胀现象；对双隔膜

重点检查中间密封件状态与密封面贴合度；隔膜破损、密封件老化时，必须更换原厂同规格配件，严禁使用非标替代品；装配前彻底清洁密封面，去除杂质、划痕与油污，确保安装对中、压紧力均匀，无偏载、无翘曲；装配完成后按规范排气、补油，试运行观察有无渗漏、流量是否恢复正常。

5 行程调节过小

故障根源：计量泵输出流量与行程设定值呈正相关，行程直接决定隔膜 / 活塞的往复位移量。若行程设定值低于10%，单位时间内介质吸入与排出量极小，现场易误判为“不上量”。该问题多由操作失误、工艺参数调整后未复位、新手误操作等导致，属于典型的操作类故障，排查优先级较高。

排查处理：查看行程指示器读数，确认设定值是否处于极低区间；按每次5%~10%的幅度逐步调大行程，每调整一次保持运行5~10分钟，观察出口流量与压力变化；流量随行程增大而稳定提升时，继续调整至工艺需求流量；若调整后流量无变化，立即转向其他故障点排查。

6 润滑油液位过低

故障根源：润滑油为液压系统提供补油、润滑、冷却功能，油箱视镜液位是判断油量的直观依据。当液位低于最低刻度线时，补油阀吸入口暴露，无法吸入足量油液，液压腔持续缺油、压力建立不足，隔膜推力不够，最终导致不上量。液位偏低多由长期未检查、油液渗漏、蒸发损耗、未及时补充等原因造成。

排查处理：通过油箱视镜检查液位，标准液位应处于1/2~2/3刻度区间；液位不足时，补充设备说明书指定牌号润滑油，严禁不同型号油液混用，防止油液变质、密封件溶胀；补充后观察液位是否快速下降，若存在异常下降，排查油箱、管路、泵头密封处有无渗漏点并及时处理。

7 安全阀故障（泵体 / 系统）

故障根源

安全阀是系统压力保护核心部件，分为泵体安全阀与系统安全阀，故障均会导致内漏、压力不足。泵体安全阀常见问题：压力设定值低于工艺需求，未达到工作压力即提前泄压；安全阀与泵头连接体密封垫破损、箱体密封面划伤，造成持续性内漏。系统安全阀常见问题：阀芯被杂质卡涩、密封面磨损、压力设定偏低，导致介质回流、系统压力无法建立。安全阀故障典型表现为：泵体运转正常、有噪音，但出口压力偏低、流量不足，甚至完全不上量。

排查处理

校准压力：按设备额定压力重新校准安全阀（泵体安全阀压力建议略高于工艺压力5%~10%）；

密封修复：更换破损的连接体密封垫，用细砂纸（800

目以上）修复箱体轻微划伤的密封面；

部件更换：若安全阀阀芯或阀座磨损严重，需直接更换安全阀总成，对于系统安全阀，可以关闭安全阀的根部阀，来排除系统安全阀是否内漏。

8 系统单向阀损坏

故障根源：系统单向阀负责保证介质单向流动、防止回流，是维持出口压力与流量的关键。阀芯被介质杂质卡涩无法闭合、密封面长期冲刷磨损、阀体受外力破损，均会导致管线中的介质大量回流至泵出口，现场表现为出口压力偏高、但流量几乎为零，是易误判的高频故障点。

排查处理：停机关闭上下游阀门，泄压后拆解系统单向阀，取出阀芯与阀座；清除杂质、结垢，检查密封面完整性，轻微磨损可抛光修复，严重变形、破损时更换阀芯或单向阀总成；装配时确保阀芯活动灵活、密封严密，无卡滞、无偏斜。

9 泵体单向阀故障

故障根源：泵体单向阀位于泵头进出口，直接控制介质吸入与排出。介质中颗粒、胶体、结垢物附着阀芯，会造成阀芯堵塞、启闭失灵；阀内O型圈老化破损、密封面不严，会导致吸入阶段漏气、排出阶段回流，介质无法稳定输送。该故障在含杂质、易结晶介质工况下高发。

排查处理：拆解泵体单向阀，用工艺介质兼容的溶剂清洗阀芯（避免损伤密封面）；检查O型圈是否完好，破损时更换同规格密封件；装配前确保阀座无划痕，阀芯活动灵活。

10 入口过滤器堵塞

故障根源：计量泵入口过滤器滤芯被介质中的杂质堵塞，介质无法正常吸入泵腔。

排查处理：拆卸入口过滤器，取出滤芯清洗（可反吹或用溶剂浸泡），若滤芯破损或堵塞严重需更换；同时检查上游介质预处理系统，必要时增设前置过滤装置，降低杂质含量。

11 系统管路排气不彻底

故障根源：入口、出口管路安装、检修后若未彻底排气，管内积气会形成气阻，阻碍介质流动，导致流量不足、压力波动。常规系统气阻多发生在高点、弯头、阀门处；倒灌式系统入口管路因重力作用不易积气，气阻多集中在出口管路。

排查处理：

常规系统：对入口管路进行排气（打开管路排气阀或松动法兰），排气后重新灌泵，确保管路内充满介质；

倒灌式系统：入口管路因重力作用通常无气阻，可松开出口阀门法兰（松开1-2扣），启动泵后观察出口——

若介质呈“脉冲状输出”(一股一股排出)且伴随稳定压力,即为正常;若流量无脉冲或压力波动大,需进一步排查管路堵塞或密封问题。

12 总结

液压驱动隔膜计量泵“不上量”故障,根源主要集中在阀类失效、介质传输受阻、液压系统异常及操作参数偏差四大方面,可归纳为三类问题。一是阀件故障,包括补油阀堵塞、排气阀失效、安全阀内漏、单向阀损坏等,需按泵型拆解检修,重点检查密封件与压力校准精度。二是介质与润滑异常,如液压腔积气、润滑油液位不足或变质、入口过滤器堵塞、管路气阻等,可通过排气、补油、清洗或更换滤芯快速处理。三是部件与操作问题,如隔膜破损、行程调节过小,需更换原厂配件并逐步优化操作参数。

通过梳理故障对应关系与处理流程,可快速定位问题,减少输送中断对生产工艺的影响。同时建议建立定期维护机制,开展润滑油检测、过滤器清洗及阀件密封性抽检,从事后修复转向事前预防,保障计量泵稳定运行,提升生产系统连续性与可靠性。

13 结语

综上,液压驱动隔膜计量泵不上量故障诱因复杂、排查繁琐,对生产连续性影响较大。本文构建了故障识别、根源定位、处置修复的标准化体系,可有效提升处置效率,降低装置波动与安全风险。现场应在快速处理基础上,建立润滑油监测、过滤器清洗、阀件抽检及密封件预防性更换机制,推动设备管理从事后维修向事前预防转变,保障装置安全稳定运行。

参考文献

- [1] 李涛. 基于深度学习的泵设备故障诊断研究进展 [J]. 仪器仪表用户, 2026, 33 (02): 129-132.
- [2] 吴智怀,王志伟. 基于SAE-ELM的液压泵故障诊断方法研究 [J]. 冶金设备, 2025, (06): 32-38.
- [3] 伍林. 隔膜式计量泵打量不足原因分析与处理 [J]. 天津化工, 2025, 39 (S1): 16-19.
- [4] 梁彬,秦琪,范志卿. 含油污水输送泵不上量故障分析与处理 [J]. 机电工程技术, 2022, 51 (05): 283-286.
- [5] 谢志远,钱杰. 加氢精制高速齿轮泵不上量及解决方案探析 [J]. 广东化工, 2020, 47 (21): 125-126+118.