

# FELUWA 高压煤浆泵异常现象及引发故障分析

魏刚

(江苏索普化工股份有限公司 江苏 镇江 212003)

**摘要:** 本文对 FELUWA 高压煤浆泵的主要性能参数、设备结构及工作原理进行了简要阐述, 并对其运行过程中的异常现象及引发故障进行了分析。

**关键词:** FELUWA; 高压煤浆泵; 故障分析

## 0 引言

随着工业化的不断深入和发展, 推动了多喷嘴对置式气化炉等新技术的应用, 高压煤浆泵是水煤浆加压气化的关键设备, 其能否稳定运行是制约气化装置长周期、高效运行的关键因素。

## 1 设备简介

江苏索普化工股份有限公司应用的是 FELUWA 开发制造的软管隔膜活塞泵, 其主要技术参数为:

规格型号: 柱塞隔膜泵 (ZGL300/250-2K180-4SM460HD);

泵转速: 13 ~ 40 行程次数 /min;

活塞行程: 250mm;

流量: 14 ~ 43m<sup>3</sup>/h (最大 56m<sup>3</sup>/h);

工作压力: 7.0MPa。

该泵主要由传动系统、动力端、液力端、止逆阀、进出口压力流量稳定系统、集控系统和消振隔振装置等部分组成。

该公司高压煤浆泵于 2009 年 10 月运行至今, 主要用于将气化工段煤浆槽中的成品煤浆送至气化炉烧嘴。单台煤浆泵供应两台烧嘴运行, 正常工况单套气化炉开车需两台高压煤浆泵同时运行, 无备泵。

## 2 工作原理介绍

电机带动泵减速齿轮箱中大齿轮的旋转运动, 由安装在大齿轮上的曲轴连杆机构转变成动力端活塞的往复运动驱动。图 1 所示为 FELUWA 高压煤浆泵结构示意图。

往复运动的活塞会使液压驱动液 (一次液压液) 产生一定的体积变化。液压驱动液使平隔膜产生凹凸变形, 驱动平隔膜与软管间的第二种液压驱动液 (二次液压液)。二次液压液将这一运动由平隔膜传递给软管。图 2 所示为 FELUWA 高压煤浆泵工作原理示意图。

输送介质的流通通道呈直线形, 介质从进口管路通

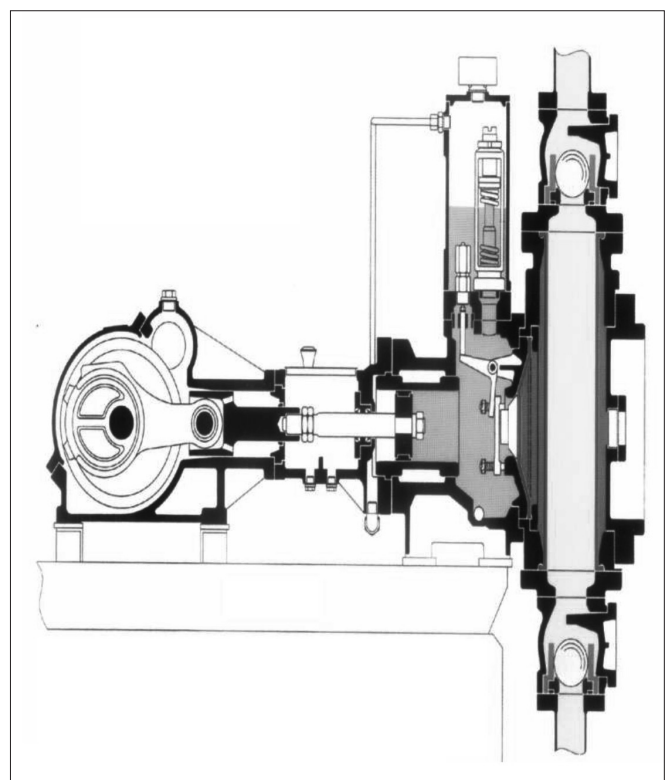


图 1 FELUWA 高压煤浆泵结构示意图

过单向止逆阀进入软管腔, 受到软管挤压后, 通过单向止逆阀进入出口管路, 即被输送的流体仅与软管的内侧和阀门相接触。

一旦软管破裂, 泵仍能以传统隔膜泵那样可靠地继续操作, 直至整个系统做好了一次有计划的停车检修准备为止。

## 3 异常现象及引发故障分析

### 3.1 异常 - 二次液压液泄漏

二次液压液泄漏达到一定量, 会导致泵腔软管和平隔膜间的空间变化, 软管和平隔膜都将受到挤压, 尤其是平隔膜形变和位移都要变大, 相应的有效转移容积变小, 泵的单缸出流量将变小。此情况下持续运行, 最终

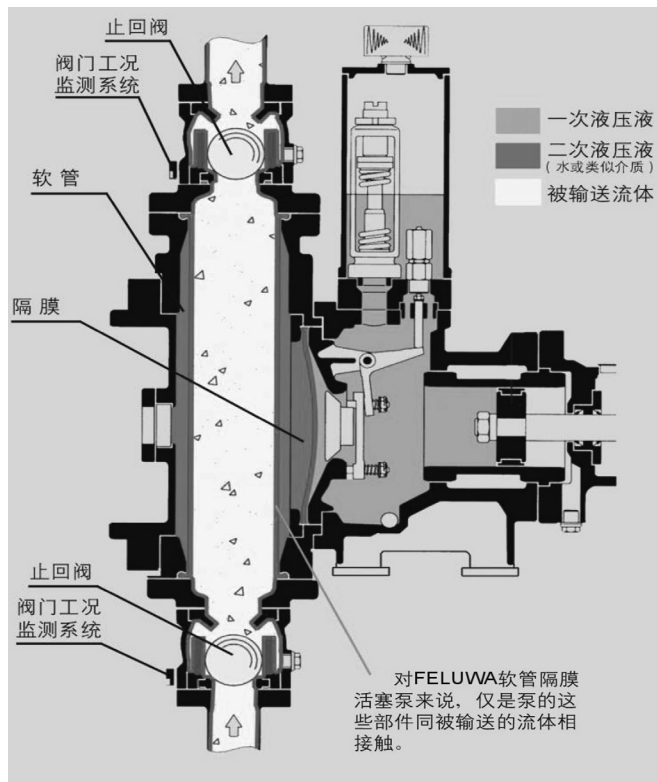


图2 FELUWA 高压煤浆泵工作原理示意图

造成的结果将是软管或者平隔膜疲劳破裂, 甚至同时破裂, 煤浆进入活塞腔, 促发联锁跳车。

造成二次液压液泄漏的原因主要为大盖密封失效。大盖密封失效多是因螺栓的断裂或损坏。螺栓用于紧固泵体与端盖, 当紧固螺栓被拧紧后, 螺栓自身承受一定大小的拉应力。受轴向拉应力作用的螺栓在与螺帽配合部分的第一螺纹牙根部是承受拉应力最大的地方。泵体内长期贮存有压力介质, 压力状态波动时会形成交变载荷, 当交变载荷与螺栓自身所受拉应力超过螺栓本身的疲劳强度, 就容易在与螺帽配合部分的第一螺纹牙根部萌生疲劳微裂纹, 随着裂纹扩展螺栓承受能力下降, 进而发生完全断裂失效。大盖螺栓断裂及端盖密封性的劣化, 在造成二次液压液大量泄漏时, 会严重影响该泵的正常运行。

### 3.2 异常-出口压力、流量值的波动

在泵运行过程中, 会出现煤浆管道出口压力、流量值的间歇性波动, 造成炉况不稳。从机械角度分析, 主要原因主要包括以下几种。

(1) 单向阀损伤: 进出口单向阀球失圆, 阀座垫变形, 导致单向阀密封失效, 煤浆泵打量和压力都会有大幅波动, 如果是阀球部分失圆, 由于阀球与阀垫的接触面是不断变化的, 可能会造成间隙性的打量和压力波动。

(2) 补排油阀故障: 主要表现为泄油孔堵塞、单向阀弹簧变形, 从而造成每次行程时补排油流量不一致,

导致煤浆泵打量产生变化。

(3) 活塞密封环失效: 活塞的密封性决定隔膜室液压、液量的变化程度, 其密封失效将会导致煤浆泵打量产生持续性变化, 同时一次液压液油箱内油位发生变化。

(4) 软管破裂: 软管破裂会造成二次液压液损失, 软管被压缩体积产生变化, 从而造成出口压力、流量波动。

(5) 出口缓冲罐压力不正常: 出口缓冲罐气囊充装压力不足或过高, 无法有效衰减活塞行程中脉冲带来的影响, 会造成出口压力、流量波动。

### 3.3 异常-一次液压液乳化

在泵运行过程中, 由于一次液压液油箱连通大气, 每次补排油过程, 高位油箱会呈微负压, 将潮湿空气从油箱盖间隙吸入油箱内, 水与油混合, 造成油品的乳化。

### 3.4 异常-活塞杆部件的损伤

活塞杆部件的损伤, 主要有以下几种表现形式。

(1) 活塞杆断裂: 活塞杆断裂其发生原因分析为应力疲劳断裂, 锁定螺栓松动, 箱位环失效, 导致活塞杆发生转动形成剪切力。

(2) 活塞杆与十字头松脱: 活塞杆箱位环上设有两种锁定螺栓, A 螺栓与泵体连接防止活塞杆发生转动, B 螺栓与活塞杆连接, 锁定活塞杆, 在长周期运行下, 会产生应力疲劳, 连接会发生松动甚至锁定螺栓断裂, 致使活塞杆与十字头脱开, 十字头内螺纹被拉掉。

(3) 活塞杆油封坏漏油: 油封在长周期运行情况下产生的磨损和检修施工不精细造成的机械式损伤, 会致使油封坏而漏油, 活塞缸不打量或打量低, 进而会对输送的煤浆量产生影响。

(4) 活塞环内凹或波浪变形: 活塞环内凹可能由于安装时的粗放造成, 但波浪变形的原因至今不明朗, 怀疑该活塞环材质不耐油, 存在一定的质量缺陷。

针对活塞杆部件问题, 该公司目前做了两点改进: 一是箱位环改为液压螺母, 二是分体式活塞环改为整体式。

### 3.5 异常-软管、隔膜破裂

软管、隔膜破裂, 主要原因如下。

#### 3.5.1 不正常进气

二次液压液在充填过程排气不彻底, 在软管和隔膜间带入空气, 气体的体积随活塞一次液压力的变化而变化, 形成气锤, 使隔膜软管局部受力增大, 将软管打破。

#### 3.5.2 控制盘弹簧折断

该泵控制盘主要起到打开隔膜腔泄压阀泄压的作用, 控制盘弹簧的装设要保证预紧力相同且用钢丝锁环固定, 若控制盘上起到定位作用的弹簧部分断裂, 会影响到平衡盘前后运动的水平度, 这样平隔膜的局部区域形变量过大, 从而导致隔膜的损坏及煤浆压力、流量的

波动。

对断裂的弹簧进行取样检测,分析结果如下:

(1) 弹簧的基层组织、脱碳层、夹杂物和硬度检测表明弹簧的纯净度良好,热处理工艺的执行是正常的;

(2) 从弹簧的宏观断口形态上看,弹簧的断裂源位于应力最大的内侧表面腐蚀坑部位;

(3) 从弹簧的使用环境,使用时间、弹簧表面和腐蚀坑内的能谱分析结果可以看出,该腐蚀坑是在弹簧制造过程中产生的,与安装使用无关;

(4) 腐蚀坑的存在,使弹簧表面产生应力集中,当应力超过弹簧的疲劳强度时,就会在应力集中处产生裂纹,最终裂纹不断扩展使弹簧发生断裂。

通过以上检测,得出结论:对该泵控制盘弹簧的备件质量高度存疑。

该泵控制盘弹簧,其材料采用的是欧洲标准 EN 10270-2,弹簧钢牌号为 VD SiCr。采用进口的 VD SiCr 满足现场使用工况要求,无需变更材质。

在弹簧制造工艺上,采用的是绕制-除应力回火-磨端面-表面处理的普通工艺,普通工艺生产的弹簧易衰减,疲劳寿命低易断裂,该泵之前使用的原厂弹簧就是采用的此种普通工艺。

该泵弹簧使用频率为 50 次/min,而气门弹簧的使用频次为 5000 次/min,使用状况相当稳定。气门弹簧的制造工艺在普通工艺上增加了喷丸-立定处理-定型回火等工序,减少弹簧衰减,增加疲劳寿命。

目前,该公司对该工艺制造的控制盘弹簧进行试用,以寻求运行工况的稳定。

### 3.5.3 煤浆中含有铁屑等尖锐物体

片状、针状杂铁进入高压煤浆泵内,容易造成隔膜表面被扎破,同时容易卡在阀球与阀座间,导致封闭不严造成垫缸现象,煤浆流量下降,甚至造成停车。

做好输煤系统小杂铁、磨机钢棒等磨损产生的铁片、铁粉等的清除工作,对煤浆泵的稳定运行也很重要。

### 3.5.4 疲劳损坏

在隔膜运行周期的末期,会产生一定的疲劳损伤,也是隔膜破裂的高发期,做好软管、隔膜的计划性更换,并严格执行检修规程。

### 3.5.5 软管、隔膜存在的质量缺陷

软管、隔膜的几何尺寸和加工质量对寿命的影响很大,既要防止应力集中,又要考虑密封性,避免液压油、传动液及输送介质之间的互渗。隔膜加工成型要厚度均匀,无气孔、杂质等内部缺陷,以避免影响其整体强度和耐疲劳性。

### 3.6 异常-超压阀不正常泄压

该公司曾发生一次超压阀故障,煤浆流量突降,该泵因煤浆流量低低跳停。由于一次液压液油箱油位与

油质无明显变化,初步怀疑进出口单向阀堵塞的可能性较大,但在实际拆检中并未发现有异物。在对泄漏补偿阀进行检查时发现,一侧的超压阀的紧固螺栓有 3 颗断裂、1 颗松动变形。结合相关现象分析,由于长时间的运行,紧固螺栓会出现一定程度的松动,在油压的持续作用下会出现疲劳断裂,因而超压阀的密封会受到破坏,继而引发超压阀的阀座支撑环被挤出环形槽损坏断裂。对拆卸的超压阀进行水压试验,在施压至 6.5 ~ 7MPa 时,该阀会出现泄漏,进行排液泄压。对检修系统的 15 只阀进行试验,均在 11MPa 时出现泄漏现象,而该泵超压安全阀的工作压力为 9.6MPa,其设定压力为工作压力的一定倍数,该泵出口压力为 7MPa,显然该单只超压阀在原始设定时存在压力设定偏差或错误。

## 4 故障统计及管理经验

### 4.1 故障统计

近几年,高压煤浆泵故障频发,从 2019 年至今,共计发生故障检修约为 21 次。故障主因分别为:控制盘弹簧断裂 6 次,活塞杆故障(有活塞环呈波浪变形、内凹缺陷及活塞体损坏现象)6 次,软管、隔膜损坏 5 次,大盖螺栓断裂(二次液压液大量泄漏)1 次,煤浆大颗粒、单向阀堵塞 1 次,有异物铁屑 1 次,超压安全阀故障 1 次。

### 4.2 管理经验

(1) 控制盘弹簧、活塞环、软管和隔膜等备件质量的可靠保证,对该泵的运行产生最为直接的影响;

(2) 煤浆质量的稳定、前系统的处理,对该泵运行有关联性的影响,要做好源头的管控;

(3) 大盖密封面的老化、紧固螺栓的断裂,对该泵的精细化管理提出新要求,不能忽视小细节;

(4) 检修质量的有效保证,严格遵守检修工艺流程是非常重要的环节。

## 5 结语

本文通过对该泵异常现象及其引发故障进行剖析,可以协助判断问题所在,通过对各细节的把控处理,为气化系统的长周期运行提供坚实的保障。

### 参考文献:

- [1] 路光彬. FELUWA(菲鲁瓦)高压煤浆泵常见故障判断[J]. 山东化工, 2012(08): 89-90.
- [2] 季思伟. 浅析 FELUWA 高压煤浆泵常见故障[J]. 化工管理, 2015(18): 128.
- [3] 李丰营. FELUWA 高压煤浆泵软管隔膜破裂原因分析及解决措施[J]. 石油化工设备技术, 2013(05): 60-63.