

活塞隔膜泵与液动隔膜泵的流量脉动分析

刘东海, 黄晓云

Flow Pulsation Analysis of Piston Diaphragm Pump and Hydraulic Diaphragm Pump

LIU Dong-hai, HUANG Xiao-yun

(沈阳大学, 辽宁 沈阳 110044)

摘要: 浆体输送流量的平稳性直接关系到输送系统的可靠性。该文阐述了活塞隔膜泵与液动隔膜泵的工作原理, 着重分析了两种不同泵的流量与时间的关系, 讨论了两种泵流量的平稳性问题。指出活塞隔膜泵理论上存在流量脉动, 而液动隔膜泵流量均匀, 不存在流量脉动。

关键词: 浆体输送; 流量平稳性; 活塞隔膜泵; 液动隔膜泵

中图分类号: TH137.5 文献标志码: B 文章编号: 1000-4858(2012)11-0071-03

引言

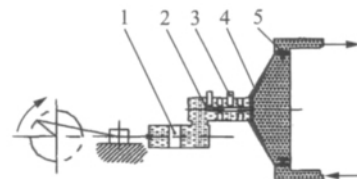
在浆体管道输送系统中, 常有利用多台浆体输送泵向一条管路输送物料的工况。在这类工况中, 管路经常会出现振动, 尤其是输送压力较高时, 振动尤为剧烈。这种现象对浆体输送系统的工作性能有直接影响。产生这种现象的根本原因是浆体输送流量的不平稳。解决这个问题需了解掌握浆体输送泵的流量脉动规律。本文主要分析了活塞隔膜泵与液动隔膜泵的流量与时间的关系, 对两种不同泵的流量脉动情况进行了阐述。

1 活塞隔膜泵

活塞隔膜泵是在活塞泵的基础上, 增加隔膜室演变而来, 它能有效地防止浆体颗粒进入缸体, 减小对缸体磨损, 从而使泵的寿命大大延长^[1]。

1.1 活塞隔膜泵的原理

活塞隔膜泵的原理如图 1, 它以电动机通过减速机构驱动曲柄滑块机构进行来回往复运动, 从而带动活塞来回运动。活塞与隔膜之间充满了液体介质。当活塞向右运动时, 推动液体介质, 进而推动隔膜向右变形, 将浆体从浆室经排浆阀排出。运动到最右端时, 排浆结束, 排浆阀关闭, 这是排浆过程。而后当活塞向左运动时, 隔膜也向左运动, 隔膜室的浆体腔形成负压, 这时进浆阀打开, 浆体进入浆体室, 当活塞运动到最左端时, 进浆阀关闭, 这是吸浆过程。如此循环, 完成进排浆过程^[2]。



1. 活塞缸 2. 导杆 3. 探头 4. 隔膜 5. 进出料阀

图 1 活塞隔膜泵工作原理图

活塞隔膜泵易损件少, 拥有较高的运行效率和较低的成本, 是一种节能环保型产品, 被广泛地用于矿山精选、冶金烧结尾矿和污水以及电力、化工、建材企业中的高磨蚀性液固体两相浆料的长距离高扬程输送。

1.2 活塞隔膜泵的流量分析

单作用活塞隔膜泵单位时间内活塞的往复次数是恒定的, 所以单位时间输送物料的体积一定, 但是活塞每个冲程速度是变化的^[3]。根据图 1 可以写出活塞位移 X 的公式:

$$X = R \left(1 - \cos \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin^2 \varphi \right) \quad (1)$$

式中: φ 为曲柄转角; $\varphi = \omega t$ ω 为曲柄角速度; t 为时间; R 为曲柄半径; $\lambda = \frac{R}{L}$ L 为连杆长度。

由式(1)推导出活塞的速度公式:

收稿日期: 2012-05-08

作者简介: 刘东海(1988—)男, 河南信阳人, 研究生, 主要从事浆体管道输送研究工作。

$$u = R\omega \left(\sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right) \quad (2)$$

而单缸单作用活塞隔膜泵的瞬时理论流量 Q 为:

$$Q = Au = AR\omega \left(\sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right) \quad (3)$$

式中, A 为活塞面积 由于 $\lambda = \frac{R}{L}$ 很小, 忽略不计 则:

$$Q = AR\omega \sin \varphi \quad (4)$$

显然, 由式 (4) 可以看出单缸单作用活塞隔膜泵瞬时理论流量是脉动的, 这是由其原理上造成的。特别是利用多台泵输送时, 由于输送物料流量脉动峰值叠加, 管路经常出现振动, 甚至出现共振。在喂料管处, 由于流量波动容易出现真空甚至气蚀, 从而破坏设备的正常运行; 另外流量的波动也会引起压力的脉动, 从而对泵、阀、管道造成破坏。特别是额定压力大, 管道长的时候, 破坏性更大。为了减小流量脉动, 活塞隔膜泵常采用卧式双缸双作用和卧式三缸单作用两种结构形式。以下介绍卧式三缸单作用结构活塞隔膜泵流量脉动^[4]。

三缸单作用流量可以由单缸单作用流量叠加得来。根据研究, 当三个缸相位角相差 $\varphi = \frac{2\pi}{3}$ 时, 叠加后流量脉动较小。如图 2 所示:

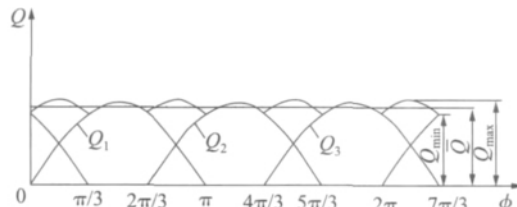


图 2 三缸单作用活塞隔膜泵的流量合成曲线

引入流量不均匀系数 δ_q , 则:

$$\delta_q = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{\bar{Q}} \quad (5)$$

Q_{\max} 为最大瞬时流量; Q_{\min} 为最小瞬时流量; \bar{Q} 为平均流量。

对于三缸单作用系统而言(如图 2), Q_{\min} 出现在 0 和 $\frac{\pi}{3}$ 处, 此时 $Q_{\min} = \frac{\sqrt{3}}{2}AR\omega = 0.866Q_{\max}$; Q_{\max} 出现在

$\frac{\pi}{6}$ 处, 此时 $Q_{\max} = AR\omega$; 三缸单作用系统 $\bar{Q} =$

$0.955Q_{\max}$; 故流量不均匀系数 $\delta_q = 0.14$ 。

显然, 三缸单作用的瞬时流量不均匀系数要小的

多, 但仍有一定的波动。为了使输送流量均匀、压力稳定, 工业上一般在泵的出口端设氮气罐或空气罐。依靠气体的可缩性吸收或释放脉动的能量, 提高系统的可靠性。

2 液动隔膜泵

液动隔膜泵是沈阳某大学正在研制的一个泵种, 其动力端采用了技术成熟、压力高、流量稳定、效率高的液压传动方式。它用电机带动液压泵, 由液压泵通过液压油(一级驱动液)推动活塞(柱塞)往复运动, 再由活塞(柱塞)推动液体介质(二级驱动液)使橡胶隔膜做凹凸变形, 从而使隔膜室的容积发生周期性的变化, 从而达到吸浆和排浆的目的。

2.1 液动隔膜泵的组成和原理

如图 3 所示, 液动隔膜泵主要由电动机、驱动液压系统、膜位控制系统、组合油缸、隔膜室、进排浆阀、PLC 集控系统、实时监控系统和智能诊断系统组成^[5]。现以图 3 中隔膜室 A 及其配套的组合缸 I、进排浆阀 5、6 为例来介绍液动隔膜泵的工作原理。

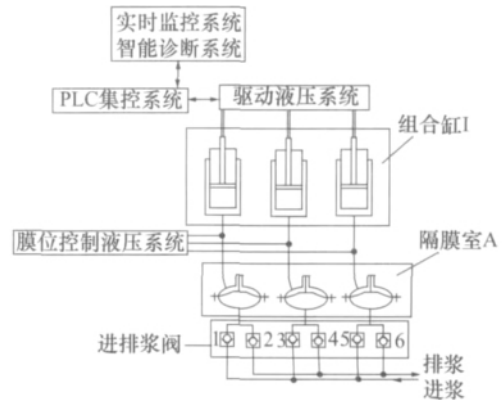


图 3 液动隔膜泵组成和工作原理示意图

液动隔膜泵的工作原理: 驱动液压系统在 PLC 集控系统的控制下, 由主电机带动, 使高压油(一级驱动液) Q_1 进入组合缸 I(图 4)左端活塞无杆腔, 推动活塞向右运动。右端的无杆腔与隔膜室的油室通过油管相连。活塞推动一定的流量和压力的液体介质(二级驱动液) Q_3 , 使其进入隔膜室油室, 推动隔膜变形, 迫使浆体通过逆止阀进入排浆管道, 完成一次排浆过程; 当隔膜室 A 中的隔膜运动到下止点时, 驱动液压系统中的换向阀在 PLC 集控系统的控制下换向, 高压油 Q_2 进入组合缸 I 左端的有杆腔, 推动活塞向左运动, 油室压力下降, 隔膜室 A 中的隔膜向上运动, 浆体通过逆止阀进入浆室, 完成一次吸浆过程; 当隔膜室 A 运动到上止点时, 驱动液压系统中的换向阀在 PLC 集控系

统的控制下换向,高压油再次进入组合缸 I 左端的无杆腔,如此循环,从而完成浆体的输送。膜位控制液压系统在 PLC 集控系统的控制下对推动液 Q_3 进行补排放,以使隔膜始终在设计位置工作。智能诊断系统通过 PLC 通信,能帮助操作人员及时、准确地分析判断故障并排除。实时监控系统可以在计算机显示器上模拟整个设备的运行状态,方便用户的操作和管理。

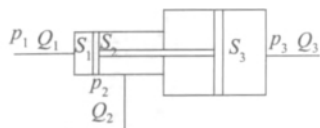


图 4 组合缸的原理图

2.2 液动隔膜泵的流量分析

如图 4 所示,在排浆过程中,进入左端无杆腔的流量 Q_1 与右端无杆腔排出流量 Q_3 (即排出浆体的流量) 有如下的关系:

$$Q_3/Q_1 = S_3/S_1 \quad (6)$$

引入组合缸增量系数 C_0 (一般取 4 ~ 8 比较合适) 则:

$$C_0 = S_3/S_1 \quad (7)$$

由此可知组合缸将驱动液压流量和排浆的流量作了置换,置换比为 C_0 ,对流量进行了放大。

在排浆时,组合缸的运动件的受力方程:

$$p_1 S_1 = p_2 S_2 + p_3 S_3 \quad (8)$$

(忽略运动件重力和摩擦力)

p_2 与 p_1 , p_3 相比很小,故也可以省略,故:

$$p_1 S_1 = p_3 S_3 \quad (9)$$

整理得:

$$p_1/p_3 = S_3/S_1 = C_0 \quad (10)$$

通过式 (10) 可以看出,组合缸驱动液的高压和排浆浆体的低压作了置换。

组合缸将液压油的高压(可达 40 MPa) 置换成排浆的低压(国内的尾矿输送压力一般为 2.5 ~ 6 MPa),将小流量转变成大流量。这样就可以大大的减小设备尺寸,结构更紧凑^[6]。

三个组合缸在 PLC 的控制下以相位角相差 120° 连续的工作,在每一个时刻,都有两个隔膜室在排浆,另外的一个吸浆,总排量是由两个隔膜室排浆排量叠加。其吸排浆的流量图如下:

横坐标为时间 t ,纵坐标为隔膜室的吸排浆量 Q 。由图可以看出每个时刻均有两个隔膜室在排浆,一个

隔膜室在吸浆,每个隔膜室吸浆排浆交替进行。 $t_1 \sim t_3$ 时刻为 I 隔膜室的排浆时段, $t_2 \sim t_4$ 时刻为 II 隔膜室的排浆时段, $t_3 \sim t_5$ 时刻为 III 隔膜室的排浆时段,然后又是 I 隔膜室排浆过程,以此规律循环下去,完成连续的排浆过程,见图 5。

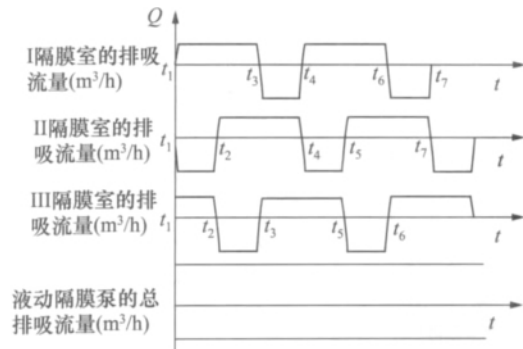


图 5 液动隔膜泵的进浆排浆时序图

由于动力端采用液压驱动,利用定量泵供油,其流量为一定值 Q ,也就是液动隔膜泵的浆体流量为 $C_0 Q$,即是每一时刻理论流量为一恒定值,不存在流量波动。这样就避免了多泵并联时,由于瞬时流量峰值叠加而引起的整个管路和隔膜泵的严重损坏。与此同时,隔膜将二级驱动液与浆体隔离开,一旦隔膜破裂,浆体只会跟二级驱动液混合,不会与一级驱动液混合,保证了一级驱动液的安全,有很好的可靠性与经济性。

3 结论

活塞隔膜泵在理论上存在着流量脉动,但采用多台泵同时输送时,可以采用合适的相位角差输送,可以明显地减小了流量不均匀系数,提高输送系统的可靠性。对于液动隔膜泵,流量均匀,不存在流量脉动,结构简单,并且泵的冲次较低,也可以延长隔膜的使用寿命,是一种节能环保型的产品。

参考文献:

- [1] 从恒斌,陶自强. 隔膜泵隔膜行程控制系统[J]. 煤矿机电, 2006 (4): 59 - 60.
- [2] 凌学勤. 往复式活塞隔膜泵的技术参数及核心技术[J]. 机电产品开发与创新, 2006, 19(5): 45 - 48.
- [3] 冶金工业部国外冶金工业污染资料编译组. 冶金工业污染及其防治[M]. 北京: 石油化学工业出版社, 1995.
- [4] 粒状物料的浆体管道输送[M]. 北京: 海洋出版社, 1998.
- [5] 黄晓云. 液动隔膜泵的研究与开发[J]. 液压与气动, 2009 (9): 79 - 82.
- [6] 孙荣权. 液动驱动隔膜浆体泵的研究与设计[J]. 金属矿山, 2008 (11): 454 - 456.