

隔膜泵动力端结构改造研究

于继宏

(沈阳鑫博工业技术股份有限公司, 辽宁 沈阳 110141)

[摘要] 隔膜泵是远程料浆输送设备工艺系统中的“心脏”设备,特别是高磨蚀、高浓度固液两相介质的长距离管道化输送系统中,更是其他泵类无法替代的,隔膜泵结构简单、坚固耐用,大部分的加工件难度较低,易于操作;动力端是整个隔膜泵技术难点最多的部件,其中包括了曲轴、连杆、活塞缸、十字头等相对精密的零件,特别是曲轴一般较大,需要特定的设备才能完成加工;本文通过对动力端的结构进行改造,目的是降低关键零件的加工难度,使其更加容易制造,从而降低成本,提高效率。

[关键词] 隔膜泵; 动力端; 曲轴

[中图分类号] TH323; TF821

[文献标志码] B

[文章编号] 1003-8884(2021)04-0061-04

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.04.014

0 前言

隔膜泵全称是往复式活塞隔膜泵,是在往复式活塞泵的基础上演变而来,其基本结构是1958年法国学者Ballu提出,隔膜泵综合了活塞泵压力高、坚固耐用、结构简单、耐腐蚀等优点,克服了活塞泵活塞密封元件易磨损的缺点,很快被人们所接受。研制初期,由于核心技术没有完全成熟,致使隔膜泵连续运转率低、运行成本与其他泵类无明显差异,同时工作可靠性不稳定;70年代末,荷兰HOLTHUTS公司创立了一套先进完善的检测控制技术,使隔膜泵的设计理论、方法产生了完全迥异的变化,彻底解决了核心技术成熟性问题,使隔膜泵连续运转率达到了85%~95%,而运行成本仅为其他泵的1/6.3,使隔膜泵成为输送高磨蚀固液两相介质的新一代往复泵,并逐渐替代其他类型泵^[1]。

随着氧化铝生产技术的飞跃,管道化技术也取得了很大的发展,但是以往的工艺装置中的隔膜泵一直依赖进口,价格十分昂贵,以山西某铝厂为例,流量450 m³/h,压力6.5 MPa的隔膜泵引进费用需

要5000万元^[2];80年代中期,国内大型国企开始了隔膜泵国产化的研制,在20多年内,从设计理论及设计方法入手,对隔膜泵核心技术进行攻关,先后攻克了检测控制技术、检测技术、二位二通阀技术、橡胶隔膜技术、PLC隔膜位置控制技术、自动化控制技术、消振、隔振技术、温度控制技术等关键,形成了自己的专有技术,使隔膜泵在国内有了长足的发展,满足了黑色、有色、化工、建材、煤炭、电力等行业内对高磨蚀固液两相介质输送的工艺要求,得到了广泛推广。

1994年,首台应用于铝行业的双缸双作用隔膜泵(如图1所示)在国内某国企内研制成功,隔膜泵逐步成为了氧化铝、煤制油、煤化工、金属矿山精矿、高浓度尾矿输送等重大设备工艺系统中的核心设备,隔膜泵是一种连续运转设备,它停机一小时至少损失100万元,所以,它在运转状态下就不允许非计划停机,使它在机械强度、橡胶寿命、自动化控制及可靠性等方面要求比较高^[3]。



图1 隔膜泵外形示意图

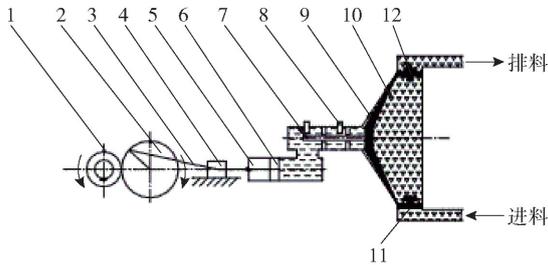
[收稿日期] 2020-10-14

[作者简介] 于继宏(1982-),男,内蒙古赤峰人,工程师,大学本科,主要从事粉体输送设备的设计工作。

[引用格式] 于继宏.隔膜泵动力端结构改造研究[J].有色设备,2021,35(4):61-64.

1 隔膜泵工作原理

隔膜泵是由传动系统、动力端、液力端、控制系统、液压辅助系统等组成。其结构和工作原理如图2所示,电机通过减速机驱动曲轴、连杆和十字头,使旋转运动变为直线运动,带动活塞进行往复运动;当活塞向左运动时,活塞借助油介质将隔膜室中的橡胶隔膜吸到左方向,借助矿浆喂料压力打开进料阀,吸入矿浆充满隔膜室;当活塞向右运动时,关闭进料阀,活塞借助油介质将隔膜室中橡胶隔膜推向右方向运动,并借助压力开启出料阀,将矿浆输送到管道。由于矿浆不接触活塞等运动部件,减少了这些部件的磨蚀。同时,通过设置灵敏、可靠的检测自动化系统(导杆、探头),保证了橡胶隔膜的长使用寿命,成为矿浆管道化输送的理想设备。按结构形式分为双缸双作用、三缸单作用,其单台流量范围25~300 m³/h,压力范围1.5~20 MPa,并可通过机械、电子耦合及用多台泵来扩大流量范围。



1. 电机 2. 曲轴 3. 连杆 4. 十字头 5. 活塞缸 6. 活塞 7. 导杆 8. 探头 9. 橡胶隔膜 10. 隔膜室 11. 进料阀 12. 出料阀

图2 隔膜泵工作原理图

2 隔膜泵结构及动力端组成

隔膜泵的整体结构如图3所示,分为动力传动系统、动力端、液力端、液压控制系统、进料压力补偿系统、出料压力补偿系统、电气控制系统。

2.1 动力端组成

以三缸单作用隔膜泵为例(如图4所示),动力端包括箱体、介杆、导板、十字头、连杆、三拐曲轴、箱

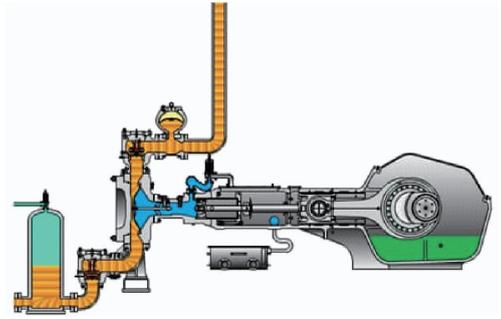
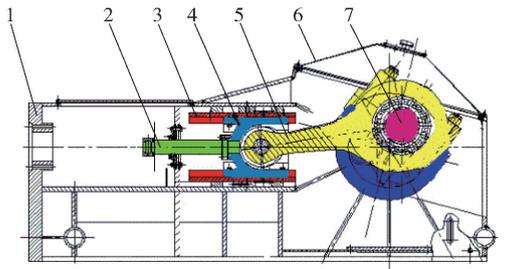


图3 隔膜泵整体结构示意图

盖、轴承;此类结构的动力端的特点是结构简单、紧凑、利于调整,相对来说箱体宽度小,减少了零部件数量,但是存在着三拐曲轴加工难度很大的缺点。



1. 箱体 2. 介杆 3. 导板 4. 十字头 5. 连杆 6. 箱盖 7. 三拐曲轴

图4 动力端结构示意图

动力端把传动系统的圆周运动转换为连杆和十字头的直线运动,通过三拐曲轴的转动,带动连杆做往复摆动,连杆带动十字头在导板内做往复运动,十字头另一端与介杆连接,介杆与液力端的活塞杆连接,从而,将动力端的动力传递给液力端。

2.2 三拐曲轴

三拐曲轴(如图5所示)是把电机的旋转运动转化为活塞往复运动的重要部件,这种形式的曲轴,曲柄错角为120°,采用三拐四支撑结构,由于支撑增多,可以减少曲轴变形和主轴径倾角,可以承受较大的活塞力;工作中,曲轴将承受周期性的交变载荷,产生交变的扭转应力和弯曲应力,要求曲轴有较高的强度、刚度、耐磨性、耐疲劳性、冲击韧性,因此,

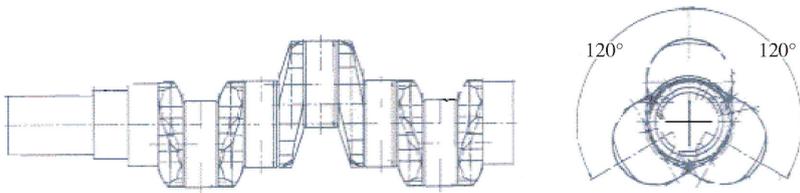


图5 三拐曲轴示意图

三拐曲轴的加工要保证较高的形位精度和较小的表面粗糙度,这对整机的使用寿命有关键作用。

3 动力端结构改进

3.1 动力端存在的加工难度

箱体是动力端的支撑和定位部件,随着流量和压力的增加,箱体的外形也逐步增大,本身为铸件,很多定位点都需要进行加工,目前加工设备最低需要保证 160 镗床或者加工能力相当的设备,否则,加工平台放置空间不足,箱体增大,其中的导板把合面加工难度增加,要求镗杆伸出长度增加,增大了镗杆加工时的跳动,最终会引起导板把合问题,从而影响十字头的运动;同时,增加了渗漏检测面积。

三拐曲轴由于其作用的重要,加工难度更大,首先曲轴的选材,通常要选择优质合金钢,例如 42CrMoA 锻件,毛坯不允许有裂纹,所以在粗加工、半精加工、精加工各道工序的探伤不能缺少;其次是精加工各轴径公差在 $-0.04 \sim 0$ mm,表面粗糙度 $Ra1.6 \mu\text{m}$,曲拐轴颈轴线与主轴颈轴线的平行度允差 0.02 mm,偏心距误差不大于 0.1 mm,各曲拐轴颈间相互位置度不大于 $\pm 20'$ ^[4];最后是加工设备,目前精加工三拐曲轴的设备是某国企改造的曲轴磨床,此类设备在全国十分稀少,在东北仅此一家能够加工,加工过程十分复杂,需要多次的调整配重工装,每一次的调整需要行吊设备的辅助,加工周期过长;每一根曲轴的加工需要多种设备配合,成本费用过高。

3.2 动力端结构的改进

直线型排列的曲轴装置因为设备流量和压力增加的原因,直接导致箱体十分庞大,那么在改造中尝试将直线型方式改变为圆周型方式(如图 6 所示),这样的形式,可以将三拐曲轴直接变成了单偏心曲轴(如图 7 所示),不但将整个动力端的箱体变得很小,曲轴的加工难度也大大降低,零部件的加工设备要求降低,灵活性更高,虽然加工精度要求依然很高,但是零部件加工面的质量却得到了极大的提升,这样在设备的运行过程中,更加能够保证设备运行的稳定性;活塞缸圆周布置后,增加了缸体的数量,原来的隔膜泵缸体三缸单作用的配置中,最多只有三个活塞缸,将活塞缸圆周布置后,可以增加至五个缸体,活塞的工作效率得到了增强;在零部件的设计中,参照汽车的活塞缸,曲轴与活塞直接连接,缩短

了动力传导的距离,使结构更加的简单。

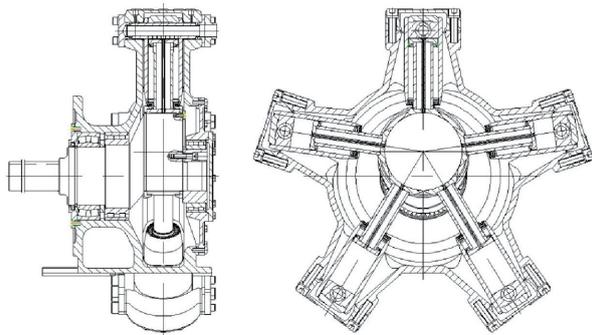


图 6 圆周式动力端结构形式示意图

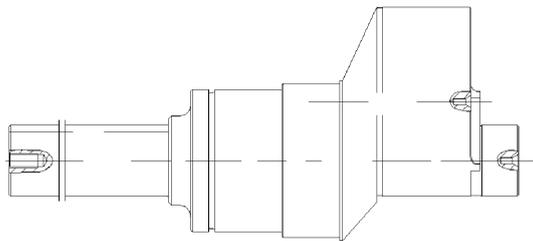


图 7 单偏心曲轴示意图

3.3 新结构动力端工作原理

改造后的隔膜泵主要分为动力传动系统、动力端、液力端、压力补偿系统、电气控制系统等,与原设备基本相同,只是动力端结构变化后,运动形式发生了一些变化;

电机通过减速机经联轴器与曲轴连接后,完成动力的输出,带动曲轴转动,五个活塞呈星型通过环形拉环与曲轴连接,随着曲轴的转动,活塞做周期性摆动往复运动,当活塞向轴心拉动时,通过介质传导,抽动隔膜室内的隔膜向后拉动,打开进料阀,将矿浆吸进阀箱体内,当活塞向外推动时,隔膜室内的隔膜也被作用后向外推动,关闭进料阀,打开出料阀,将矿浆送进出料管道。五个缸体循环连续作用,保证矿浆输送的连续性。

3.4 新型动力端零部件加工难度分析

因为结构形式发生变化,首先要验证新结构的运动形式是否成立,然后通过样机的试验新结构的工作连续性。

曲轴和活塞这样的连接方式,要考虑曲轴轴径与活塞行程的关系,轴径过小会使活塞行程增加,活塞的摆动幅度增加,运动过程中会出现绞死点;运行中,箱体内充入润滑油,液面要保证曲轴向上运行至最大偏心处时,仍没入在液面下,保证活塞与曲轴之

问始终能够建立一层油膜;同时,活塞缸摆动支点的固定轴,加工面要光滑,星型上面的三个点还要保证喷淋润滑;最后还要考虑活塞与曲轴的材料刚性、耐磨性,接触面的加工精度要高,最大限度的减少运行过程中产生的摩擦力阻力。

活塞与曲轴之间存在滑动摩擦力,是此结构运行的最大阻力,在计算此处的滑动摩擦力时,处于星型最上端的活塞是最不利点,克服此点的滑动摩擦力,即可保证其他四点的运行。

滑动摩擦力

$$f = \mu N$$

式中: μ 为动摩擦因数,也叫滑动摩擦系数,与材料、接触面的粗糙度有关;

N 为接触点受到的正压力,通过运动分析可以看出,此处正压力是个变值,随着运行周期性变化,当活塞运行至垂直曲轴轴心时,所受压力值最大, N 值包括了活塞的重量以及活塞与活塞缸运行过程中摩擦力的反作用力;

活塞与活塞缸之间的摩擦力,主要是因 O 型圈挤压变形与活塞缸内壁产生的摩擦力,计算中取理想状态下,假设 O 型圈材料遵循广义虎克定律,最终得到参考公式如下:

$$F = (0.2\pi^2 feEDd)/(1 - u^2)$$

式中 F —所求摩擦力;

f —O 型圈与缸壁间的摩擦系数;

e —O 型圈压缩系数,一般取 10% ~ 20%;

E —O 型圈材料弹性模量;

D —未受力状态下 O 型圈最大外径;

d —未受力状态下 O 型圈直径;

μ —O 型圈泊桑系数;

计算中,预压缩后的 O 型圈截面与缸壁的接触宽度通常取 0.8 d ,参照赫兹接触理论;

由于新结构形式目前处于试验状态,详细参数不在此进行计算。

通过上述分析得出,主要的运行阻力均为接触点的摩擦力,那么就要求其中,活塞、曲轴、活塞缸、活塞缸固定轴、拉环等零部件的加工面光洁度尽量提高,并保持一定的润滑,减少或者消除摩擦力,例

如活塞与曲轴接触的轴瓦面,光洁度最低保证 Ra0.8,并加工油槽,利于形成油膜,曲轴上与活塞接触的轴面,光洁度最低保证 Ra0.8,油缸内壁光洁度 Ra0.8,油缸固定轴轴端光洁度 Ra0.8;虽然光洁度要求相对较高,但是通过磨削还是能够达到,最主要的是,曲轴形式变化后,对设备的要求大大降低,市场上 80% 的企业都能够完成加工,使其加工成本得到降低。

4 结论

隔膜泵自技术成熟后,已经成为远程料浆输送设备的主要泵型,其作用是其他泵类设备无法取代的,早期国内设备需要进口,因而价格居高不下;自 1994 年国内试制成功后,市场价格降低了许多,但随着流量和压力要求的提高,设备的外形越做越大,导致了隔膜泵的加工对大型设备依赖性过大,国内只有少部分大型国企能够生产制造,限制了隔膜泵的发展。

通过对动力端进行改造,使其零部件加工难度降低,整机制造更为简单,隔膜泵的制造厂家变多,减少了对大型设备的依赖性,让隔膜泵的市场生存能力得到了提升。

通过对样机的试验,进行了功率的粗略对比,相比于国内大型国企的隔膜泵,在同等功率的情况下,改造后的隔膜泵外形只有原来的 1/10,使隔膜泵的占地面积大大减少,对于用户来讲,在工艺系统中考虑设备布置方面灵活了很多。

[参考文献]

- [1] 凌学勤. 往复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.
- [2] 倪健. 隔膜泵在尾矿输送中的应用及改进[J]. 梅山科技,2001(2):9-11.
- [3] 凌学勤. SGMB、DGMB 系列往复活塞隔膜泵在氧化铝工艺流程中的应用[J]. 有色设备,2003,17(2):1-4.
- [4] 王占勇. 三拐曲轴加工[J]. 有色矿冶,2013,29(3):62-64.
- [5] 徐辅仁. 对 O 形密封圈引起的摩擦力的计算[J]. 石油机械,1989,17(8):9-10,35.

(下转第 84 页)

技术中的应用[J]. 节能,2016(5):67-68.

腐措施及利用方式的探讨[J]. 上海节能,2011(1):

[6] 胡深亚,潘卫国,姜未汀,等. 中低温烟气余热利用中防

30-34.

Practice of Efficient Utilization of Multi-stage Waste Heat in Copper Smelting by Three-stage Superposition

CHEN Quan-kun

Abstract: Taking a company as an example, following the principles of matching energy utilization and energy cascade utilization, this paper introduces the recovery and utilization mode of waste heat in each procedure of copper smelting in details. The obtained superheated steam enters the waste heat power generation system to generate electricity, thus the steam heat energy is converted into electric energy. In order to avoid the change of steam grade entering the steam turbine due to the change of process operation in smelting system, a heat storage device is added before the steam turbine. Through the three-stage superposition utilization of the above waste heat, the power generation can reach 200 kW·h/t steam.

Key words: waste heat; cascade utilization; efficient utilization



(上接第 64 页)

Study on Structural Transformation of Power End of Diaphragm Pump

YU Ji-hong

Abstract: Diaphragm pump is a “heart” equipment in the remote slurry transportation system. Especially in the long-distance pipeline transportation system of high abrasion and high concentration of solid-liquid two-phase medium, diaphragm pump is irreplaceable by others. Diaphragm pump is of simple structure, sturdy and durable, easy to operate, and most of the parts are easy to be fabricated; the power end is the part with most technological difficulties of the entire diaphragm pump, including relatively precise parts such as crankshafts, connecting rods, piston cylinders, crossheads, etc. Especially for crankshafts, it requires specific equipment to complete the processing. This paper discusses the structural transformation of the power end to reduce the difficulty of processing key parts, thereby reducing costs and improving efficiency.

Key words: diaphragm pump; power end; crankshaft

