

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.01.007

船用跳汰选矿设备及其控制系统设计^{*}

沈 龙¹, 冯武卫^{1*}, 张玉莲¹, 赵晓栋¹, 于晓龙²

(1. 浙江海洋学院 船舶与海洋学院, 浙江 舟山 316022; 2. 浙江欧华造船股份有限公司, 浙江 舟山 316101)

摘要:针对滨海砂矿丰富的矿产资源利用问题,以跳汰设备为原型设计了一种新型的船用选矿设备。在动力及传动结构上,以液压马达代替传统的电机,并以齿轮齿条做为传动机构实现优化,使其更加贴合电气控制,更方便地实现系统的程序动作,满足对选矿设备的自动化控制。同时为了实现不同矿区不同矿含量自适应控制,从实际应用角度出发设计研制了一种符合生产应用要求的自动跳汰控制系统。以床层松散度作为控制对象,用浮标传感器对床层跳动高度进行检测,并通过 PLC 输出所需的跳汰周期曲线,最后根据设计的液压系统控制液压马达对选矿设备的工作参数进行控制。研究结果表明,该控制系统能够较好地实现对设备工作参数的控制,设备分选效率高,可靠性强,适用范围广。

关键词:跳汰机;跳动高度;液压马达;浮标传感器;自动控制

中图分类号:TH122;TP391

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)01-0042-05

Design for marine jig beneficiation equipment and system control

SHEN Long¹, FENG Wu-wei¹, ZHANG Yu-lian¹, ZHAO Xiao-dong¹, YU Xiao long²

(1. School of naval architecture and ocean engineering, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China;

2. Zhejiang Ouhua Shipbuilding Co. Ltd, Zhoushan 316101, China)

Abstract: Aiming at rich mineral resources of coastal sands, a new type of marine mineral processing equipment was designed based on jigging equipment. In the power and transmission structures, the hydraulic motor was used to replace the traditional motor, and the rack and pinion drive mechanism was used to optimize as to make it more fitting for electrical control, more convenient to operate the system to achieve the program, and meet the automated control of processing equipment. Meanwhile, in order to achieve adaptive control of different content for different ore mining, therefore, designing auto-jigger system for beneficiation from a practical point of view to meet the requirements of production applications was imperative. Regarding loose bed degree as a control object, beating buoy bed height sensor detects and outputs required by jigging cycle curve PLC. Finally, according to the hydraulic system designed to control the operating parameters of the hydraulic motor to make processing equipment controlled. The results indicate that control system can achieve better control of operating parameters of the equipment, high efficiency, high reliability, wide application.

Key words: jig; jumping height; hydraulic motor; buoy sensors; automatic control

0 引 言

近年来,自动化选矿技术快速发展至可以综合分析选矿过程中各项因素的影响,并随着入选矿石性质的变化而自动设定选矿设备的工作参数,实现对各控

制变量的自适应控制,使分选效率达到最佳值^[1-3]。

滨海砂矿作为一类经济价值的矿砂,在滨海环境下形成,在工业具有重要的作用。已探明的滨海砂矿达数十种,在航空航天、高新科技等行业都具有重要价值。且海滨砂矿床类型而言,以沉积型砂矿床为主,其

收稿日期:2014-08-28

基金项目:浙江省省级重点企业研究院科研资助项目(2013C03031)

作者简介:沈 龙(1990-),男,浙江杭州人,主要从事机械设计方面的研究. E-mail:740802557@qq.com

通信联系人:冯武卫,男,工学博士,讲师. E-mail:fengwuwei@163.com

单体解离度高达 95% 以上,所以不需要进行破碎便可直接入选,可选度高^[46],有利于船用选矿设备的使用,具有巨大的经济价值。

然而从浅海采矿市场来看,采矿设备尤其是高性能采矿、高效选矿设备严重不足,且大多数设备由河道或陆地选矿设备改装而成,能耗较高,选矿效率低,导致其很难适应滨海资源的开采。

跳汰设备是重力选矿的主要设备之一,体积较小、能耗低,对于锡矿沙等的分选有巨大的作用,对于近海作业的中小型矿船来说非常适合。然而,跳汰选矿工作过程中床层厚度的检测主要通过工作人员的经验来判断^[7],并由此调节跳汰机电机及补加水等的工作参数,所以,设备的分选效率很大程度上受工作人员主观因素影响。研究人员需要利用 PLC 和适合的传感器来组建一套跳汰选矿控制系统来实现选矿设备的自动控制,依靠在线检测物料的各项属性来自动调节设备的工作参数,实现选矿设备的自动化控制,提高分选效率。

因此,本研究旨在设计一套小型船载自动选矿设备,通过结构的优化以及动力传动装置的改进起到节约能源、提高分选效率的作用。

1 矿砂选别设备的设计与优化

1.1 选矿设备的结构设计

本研究所设计的跳汰设备是以下动圆锥隔膜跳汰机为原型,该跳汰设备分为 4 段,每段的基本结构都包含一个跳汰室和隔膜室,隔膜室是一个可动的倒立圆锥体,并用橡胶隔膜来连接跳汰室下部的锥形部分。隔膜室的圆锥体与机架相连,机架的中心与圆柱齿条上端相连接。马达通过与之同轴相连齿轮推动齿条做上下往复运动,其基本结构如图 1 所示。

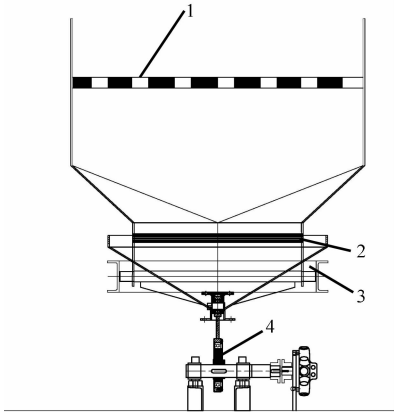


图 1 跳汰机基本结构

1—栅板;2—橡胶隔膜;3—机架;4—齿轮齿条

跳汰设备的工作过程实际上是将含不同比重的物料置于介质上方(空气或者水流),通过适当的传动机构实现介质在垂直方向上的周期往复运动。物料在周期性的振动过程中按密度进行分层。同时,矿粒的粒度和形状对分层的上下排布也有很大的影响。因此,跳汰选矿是不同比重的矿在床层的垂直方向上占据不同的位置。

四段筛板的高度从左到右依次下降,工作过程中也是从左端开始给矿,根据矿粒的种类及相应的密度分布,调节各段的冲次和冲程,在工作过程中物料在脉动水流的作用下交替上下往复运动,其中的重物由可动锥体的底部活门排出,较轻的物料被冲至液面最高点,由于筛板的高度差而漫到下一段。经过 4 次分选,最后,尾矿从右端导出,各类矿料从隔膜室的锥底活门排出。其整体的三维结构如图 2 所示。

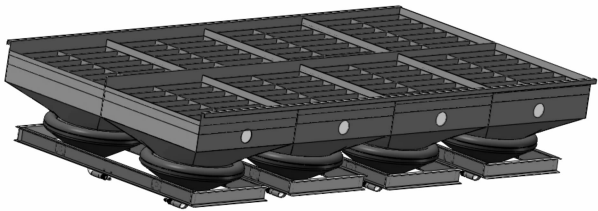


图 2 跳汰设备三维图

1.2 传动装置优化

因为跳汰机的尺寸、性能参数大小不同,脉冲水流所产生的外力不同,水流的运动情况也不同。脉冲水流的运动完成一个循环,叫做一个跳汰周期。在一个跳汰周期内,表示水的运动速度与时间的关系曲线叫做跳汰周期曲线。两种不同的跳汰周期曲线如图 3 所示。

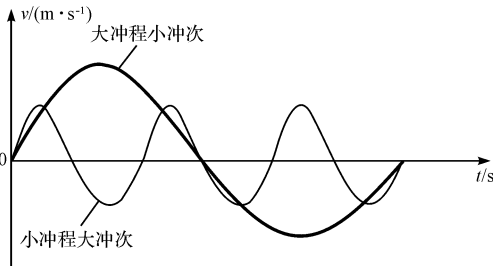


图 3 跳汰周期曲线

以传统的圆锥跳汰机为例,它是用电机带动偏心装置使机体产生振动,最后使脉动水流上、下运动。同时,因为物料分选所需冲次的要求,还需要配套安装多级减速器。本研究设计的设备以液压马达作为动力,相比较而言,液压马达更易于获得较大的力矩,在传动过程中更加平稳,并且能快速实现无冲击的换向过

程和较大范围内的无级别调速,只需要搭配相应的液压系统便能实现操纵,易于与电气控制贴合以实现跳汰周期曲线,对于提高选别效率具有重要的作用。投入实际工作的选矿机如图 4 所示。



图 4 投入实际工作的选矿机

在传统的跳汰机工作过程中,为了使脉冲水流按照理想的跳汰周期曲线运动,本研究通过参照曲线,设计制造凸轮或者偏心机构来完成脉冲水流规定的运动。同时凸轮制造也比较困难,精度难以达到要求。传动构件存在于机体的下方,要承受机体及水等的重量,所以磨损较为严重。而作为船载选矿设备,不同矿区含矿量不同,需要在检测含矿量的同时快速做出响应,通过改变马达运动参数,从而达到分选效率的最大化,提升选矿设备的自适应能力。

2 松散度的检测原理

松散度一般定义为跳汰选矿设备床层中孔隙体积占床层总体积的百分数^[8]。若以 V_1 表示床层受脉动水流作用后总体积,以 V_2 表示床层的初始体积,则床层的松散度 m 可表示为:

$$m = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \quad (1)$$

同时松散度也可衡量床层在脉动水流作用下的离散程度,所以可以用床层的最上层和最下层的边界波动范围来极值来表示,松散度定义如图 5 所示。

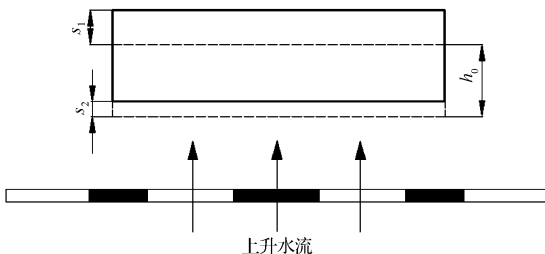


图 5 松散度定义

h_0 —床层的厚度; s_1 —床层的最上层; s_2 —最下层的边界

将松散度定义为:

$$m = 1 - \frac{1 - m_0}{1 + \frac{s_1 - s_2}{h_0}} \quad (2)$$

式中: m_0 —不受脉动水流作用时的松散度。

在理想状态下(跳汰设备按合适的跳汰周期曲线工作),认为床层的跳动过程的下边界一直贴着筛板^[9],即 $s_2 = 0$,所以松散度表达方式可以简化为:

$$m = 1 - \frac{1 - m_0}{1 + \frac{s_1}{h_0}} \quad (3)$$

由式(3)可知,要直接测得松散度 m 的值较为困难,在一次选矿过程中 m_0 和 h_0 都是确定的值,即床层的跳动的波动范围 s_1 就决定了床层的松散度的大小。在跳汰设备的实际工作的大量经验表明:要使床层的松散度达到需要的程度,只有床层的跳动高度达到一个范围,才能使床层达到需要的松散程度,因而在将一些参数理想化的情况下,可以将床层的松散度简化为床层的跳动高度的检测和控制。

设计物料的松散度的结构如图 6 所示。

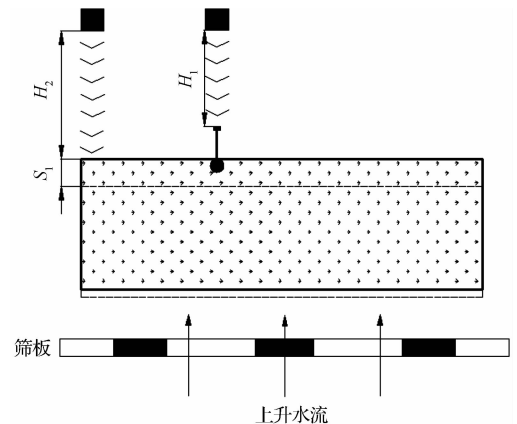


图 6 松散度检测方法

H_1 —浮标传感器与传感器距离; S_1 —床层高度

工作原理:床层在一个脉动水流的周期内上、下跳动,其跳动范围就是床层高度 S_1 ,通过设置与物料密度相近的浮标传感器来监控其跳动高度。以锡矿为例:锡矿密度为 7.298 g/cm^3 ,设置浮标传感器的密度为 7 g/cm^3 (略小于物料密度),以保证浮标始终位于整个床层的上方。在一个脉动水流的周期内,系统通过浮标的跳动高度来表示物料的跳动高度。

3 松散度的检测程序

过程原理:通过检测床层松散度,调节选矿设备液压马达的运行周期参数,使床层松散度保持在合适的程度。设计过程:假设一个脉冲的周期为 t_0 ,将 t_0 分成

100 段,每隔一个时间间隔采集一次脉冲信号并将得到的信号转移到寄存器中,然后用 SORT 语句对得到的 100 个数据从小到大进行排序,最后将最大值和最小值转移到新的寄存器中。为了排除一些特殊的跳动值对正确性的干扰,本研究选取多个脉冲周期作为检测时长,设定的检测时长也决定了中断程序调用的次数。通过上述方法分别求得一个周期中水位跳动高度以及浮标跳动高度,根据松散度的计算公式得到当前状态的松散度。将得到的松散度与理论值(稳定于 0.6,分选效果较好^[10])比较,得到床层厚度差,驱动液压马达工作。其部分中断程序梯形图如图 7 所示。

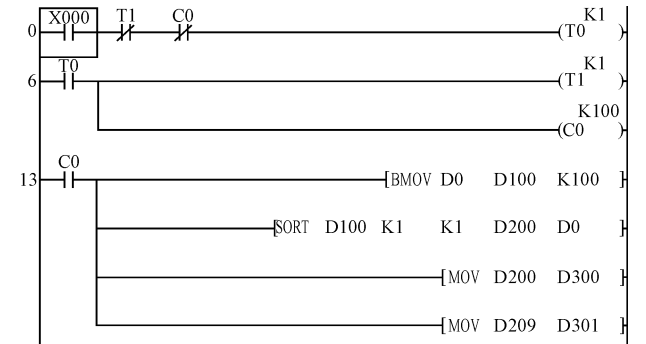


图 7 部分中断程序梯形图

4 液压系统的设计与液压马达的控制

液压马达作为研究设备的动力装置,需要根据 PLC 反馈的周期曲线来实现无级调速,同时要求频繁的正反转,这就需要设计相应的液压系统,其系统结构图如图 8 所示。

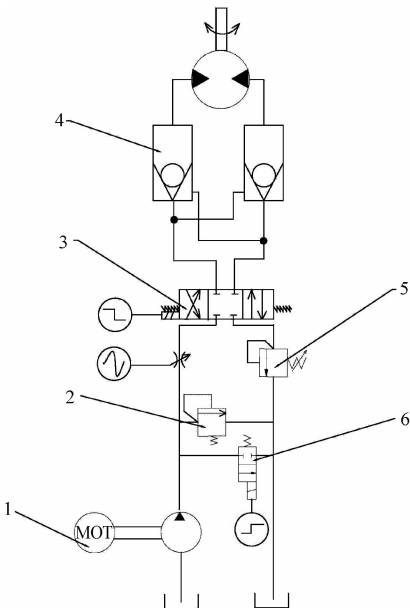


图 8 液压系统

1—电机;2—溢流阀;3—三位四通换向阀;4—先导性单向阀;
5—溢流阀;6—二位二通阀

4.1 系统功能实现

本研究由电机带动液压泵为整个系统供油,通过 PLC 给三位四通换向阀不同信号使油路换向,实现马达正、反转,回油经溢流阀 5 流回油箱;通过设定溢流阀 2 阀口开启压力来确定系统中液压油的压力值;当外界给二位二通阀 6 一阶跃信号使阀所在油路接通,完成系统的卸荷;通过 PLC 给定不同的信号设定节流阀阀口开启的截面面积的大小、调节管路中油液流量的大小,实现马达转速的调节。

4.2 油路的选择

为了使液压马达在不工作时切断其进、出油液通道,保持马达在既定位子上,而不会因反向外力作用过大而出现转动,保证机构的安全稳定,本研究使用了两个先导型单向阀组成双液控单向阀锁紧回路。

本研究将溢流阀 5 接在油缸的回路上,通过调节溢流阀的溢流压力,造成一定的回油阻力,形成背压回路,可有效改善马达运转的平稳性,而不会出现较大的液压冲击;为了使液压执行元件及其驱动的工作装置能够短时间间歇或停止运转、减小功率损耗、减低系统发热,从而导致油液的物理性质发生改变、避免因泵频繁启、停而影响泵的寿命,使用了卸荷回路。

系统工作时由于某些未知原因出现超载运转现象,影响系统安全性。在泵口处接溢流阀 2 形成安全保护回路,溢流阀作为安全阀,正常工作下,溢流阀常闭,当系统由于某些未知原因导致系统压力过高时,溢流阀打开,进行卸载保护,保证整个液压系统的稳定性与安全,防止事故的发生。

4.3 液压系统的仿真

为了验证控制系统的可靠性,本研究以粒度 0 ~ 25 mm,含硫 7% ~ 8% 煤矸石作为试样,对未设置控制系统的选矿设备(如图 4 所示)进行试验。结合多次实验结果,设置其工作条件如表 1 所示。

表 1 设备工作参数

参数	数值
水冲程/mm	10
冲次/(次/分)	80
筛下补加水/m ³ ·h ⁻¹	0
床层厚度/mm	80
跳汰时间/min	7

试验中的跳汰周期曲线表现为非对称周期曲线,设备分别以上述工作参数工作,不经分级,一次粗选,得到精矿产率 17.62%、精矿品味 31.49%、回收率

72.34%的良好指标。在 AMESim 环境下参照上述工作条件下,设置参数,对液压系统进行仿真^[11-14]。三位四通阀 A 口的流量仿真曲线如图 9 所示。

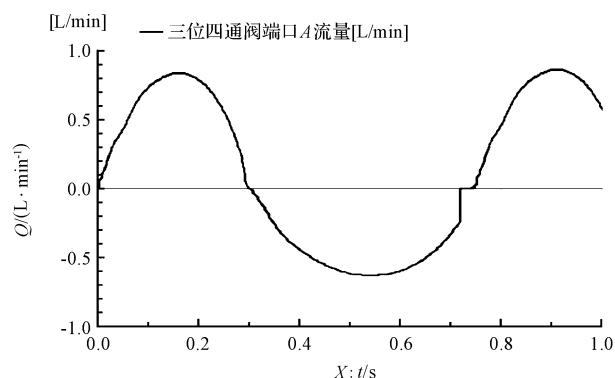


图 9 三位四通阀 A、B 口的压力仿真曲线

其中 A 口流量为正值时,表示液压马达正转;反之为反转。如图 9 所示,三位四通阀 A 口的流量水平所表现的马达转速与其跳汰周期曲线类似,其流量曲线的不对称周期性验证了该系统的实用性。

5 结束语

本研究以圆锥下动型跳汰机为原型,在设备的传动结构上做了设计和优化,以理想的跳汰周期曲线为对照,对液压马达的转速控制系统进行了仿真,确保该系统的实用性。笔者考虑到松散度对分选效果的巨大影响,以浮标传感器和 PLC 作为检测工具,起到在线检测床层松散度的作用,避免主观因素对分选效率的影响,为保证矿砂分选效率提供了一种客观高效的方式。

同时,本研究在一定程度上解决了近海矿产资源丰富而对应的选矿设备水平低的矛盾,克服了选矿设备由矿山向船载式过渡过程中的问题,具有很大的价值,最后通过对选矿设备进行的实验以及对控制系统的仿真在一定程度上验证了设备的实用性。

由于跳汰过程影响床层松散的因素很多,本研究在提出控制系统时,仅仅以单一参数作为控制量,而

将其他参数理想化,对于分选效率的提高存在一定的不足,需要后续进一步的工作。

参考文献 (References):

- [1] COUCH G. Coal preparation-automation and control[J]. **Fuel and Energy Abstracts**,1996(373):170-247.
- [2] PANDA L, SAHOO A K, TRIPATHY A, et al. Application of artificial neural network to study the performance of jig for beneficiation of non-coking coal[J]. **Fuel**,2012(97):151-156.
- [3] 韩丽娟. 选矿自动化技术的应用及发展[J]. 科技与企业, 2012(14):337-339.
- [4] 苏国强. 泰国砂矿的船采工艺及设备[J]. 矿业研究与开发,2003(3):15-16.
- [5] 耿晓阳. 浅谈海洋采矿及对我国海洋矿产开发的指导[J]. 山西焦煤科技,2011(7):37-38.
- [6] 孙 岩,韩昌甫. 我国滨海砂矿资源的分布及开发[J]. 海洋地质与第四纪地质,1999(1):123-127.
- [7] 周 源. 选矿技术入门[M]. 北京:化学工业出版社,2009.
- [8] 林明星. 跳汰床层适当松散的表示形及检测方法[J]. 矿山机械,2000(2):45-46.
- [9] 林明星. 跳汰床层松散的模糊控制[J]. 煤矿自动化,2001(2):17-18.
- [10] 于春风. 基于 PLC 的跳汰机自动控制系统的研制[D]. 青岛:青岛理工大学计算机工程学院,2008.
- [11] 孙成通,陈国华,蒋学华,等. 液压系统仿真技术与仿真软件研究[J]. 机床与液压,2008(10):140-143.
- [12] 纪 绪. 大吨位履带起重机液压系统的动态特性研究[D]. 长春:吉林大学汽车工程学院,2013.
- [13] 刘晓峰,李立新,于靖伟. 履带式起重机行走机构故障分析与解决方案[J]. 液压气动与密封,2013(11):62-64.
- [14] MING Hao, WEI Jiang. AMEsim based simulation on hydraulic experiment rig for assembly of stator components[J]. **Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)**,2013,18(5):570-576.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

沈 龙,冯武卫,张玉莲,等. 船用跳汰选矿设备及其控制系统设计[J]. 机电工程,2015,32(1):42-46.

SHEN Long, FENG Wu-wei, ZHANG Yu-lian, et al. Design for marine jig beneficiation equipment and system control[J]. **Journal of Mechanical & Electrical Engineering**, 2015,32(1):42-46.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>