

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2023.02.014

液压系统控制双轴系翻袋式离心机设计

林海波¹, 陈俊嘉², 潘万贵^{2*}

(1. 台州职业技术学院 机电工程学院, 浙江 台州 318000;
2. 浙江诚信医化设备有限公司 过程控制与装备省级企业研究院, 浙江 台州 318000)

摘要:针对传统的刮刀卸料离心机使用过程中,产品的晶粒形状易受到破坏、转鼓内易形成残余滤渣层而严重影响后续过滤并造成较大的物料损失的问题,笔者提出了一种液压驱动式双轴转鼓结构。使用液压系统驱动内轴,使之可以在外轴内部移动实现翻袋自动出料。外轴两端用轴承支撑,固定在机架上,由电机和同步带轮带动作旋转运动;外轴和内轴之间镶有滑块,保证外轴和内轴同步转动;设置精准称量装置和进行工艺优化控制,使装备结构紧凑,可实现离心机转鼓内物料质量的精确测定和过滤、洗涤及卸料等操作的智能化运行。试验结果表明:该设计实现了全自动洁净过滤,生产过程中不留残余滤饼、不损坏晶体颗粒,对物料适应性强,产品的纯度和收率都得到了提高。该设计降低了生产成本,提高了生产效率。

关键词:翻袋式离心机;液压系统控制;内外轴控制;滤袋翻转机构

中图分类号:TH137.5 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2023)02-0093-06

Design and Test of Double Shaft Invertible Filter Centrifuge Controlled by Hydraulic System

LIN Haibo¹, CHEN Junjia², PAN Wangui^{2*}

(1. Department of Mechanical and Electrical Engineering, Zhejiang Taizhou Vocational and
Technical College, Taizhou, Zhejiang 318000, China;

2. Institute of Process Control and Equipment Provincial Enterprise, Zhejiang Chengxin Pharmacy and
Chemical Equipment Co., Ltd., Taizhou, Zhejiang 318000, China)

Abstract: Aiming at the problems of the grain shape vulnerable to be damaged of the material and the formation of residual slag layer in the drum which affected the subsequent filtration resulting in great material loss in the use of traditional filter centrifuges, a hydraulic-driven double-shaft drum structure was proposed. The inner shaft was driven by hydraulic system to move inside the outer shaft to realize the automatic discharge of the bag turning. Both ends of the outer shaft were supported by bearings, fixed on the frame, and rotated by motor and synchronous belt wheel. The outer shaft and the inner shaft were set with a sliding block to ensure the synchronous rotation of the outer shaft and the inner shaft. The precise weighing device and process optimization control were set up to make the equipment compact, which can realize the accurate measurement of the material quality in the centrifuge drum and the intelligent operation of filtration, washing and unloading. The test results show that the designed equipment realizes fully automatic clean filtration, leaving no residual filter cake and no damage to crystal particles in the production process, and has strong adaptability to materials. The purity and yield of the product have been improved. The design reduces the production cost and improves the production efficiency.

收稿日期:2022-08-11;修回日期:2023-01-11

基金项目:2022年台州市第1批工业类科技计划项目(22gya12);台州市椒江区科技计划项目(182019);2019年度台州市高层次人才特殊支持计划项目(台人才领[2020]4号)。

第一作者简介:林海波(1977),男,浙江台州人,教授,主要从事过程机械、测试控制研究。通信作者:潘万贵(1962),男,浙江台州人,教授,过程控制与装备省级企业研究院院长,主要从事过程机械、化学工程技术的研究。E-mail:pwg1962@126.com

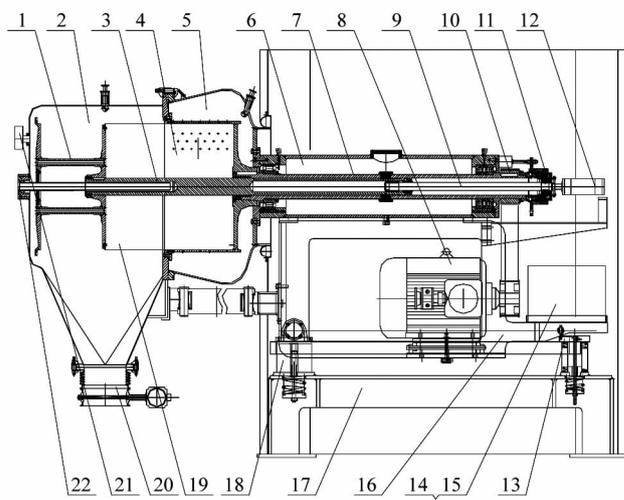
Keywords: invertible filter centrifuge; hydraulic system control; internal and external axis control; inverting filter mechanism

过滤式离心机是当前原料药生产工艺中固液分离的主要设备,用于质量分数较高、固相颗粒较大悬浮液的分离^[1-2]。翻袋式离心机是制药和食品加工等行业的理想过滤设备,也是当今制药用离心机发展的首选。翻袋式离心机属于间歇过滤式离心机,是利用高速运转的离心转鼓产生的离心力,将注入转鼓里的液相通过滤布甩出转鼓,滤渣被留在转鼓内,逐渐形成滤饼;随着加料的不断进行滤饼不断增厚,而滤液穿过滤布汇集到母液仓,通过集液装置进行收集并排出机外。德国海因克尔公司于1971年生产了世界上第1台翻袋式离心机,于1998年引入国内,应用至今^[3]。与刮刀离心机、活塞推料离心机和螺旋卸料离心机等相比,翻袋式离心机具有过滤表面残留物少、洗涤效果佳及操作弹性大等优点,使其在食品、化工及制药等行业中有着广阔的应用前景^[4]。但当前主流翻袋式离心机仍然有一定的改进空间,例如转鼓盖的密封问题、翻袋内轴的驱动方式和滤袋的清洗问题等;同时,现行的双轴结构限制了翻袋式离心机转速的提升,使得分离因数难以提高。

笔者提出一种液压驱动式双轴转鼓结构的翻袋式离心机,并对其在过滤、洗涤和卸料等工艺下的振动特性进行了动力学分析,以提升临界转速与分离因数,进而在样机上开展性能试验研究;对离心机的过滤、洗涤、甩干及卸料等操作过程进行工艺优化控制,制定最优加料-卸料策略,实现离心机的智能化生产,以便更好地满足药品生产质量管理规范(GMP)要求,促进制药行业的安全、智能化发展方向,提升国内制药装备水平。

1 结构及原理

课题组设计的翻袋式离心机,结构如图1所示。这种翻袋式结构可实现物料在卸料过程中翻转滤袋,同时物料在离心作用下被甩离滤袋,有效防止任何物料残留在滤袋上;在持续加里奥中,若滤饼达到设定质量后,则停止加料;然后进行洗涤,全速甩干,降速至卸料转速,液压机构将滤袋翻转,并利用离心力使滤饼脱离滤袋,卸料仓收集滤饼并通过下料口出料。



1—翻袋架;2—料仓;3—内轴;4—转鼓;5—母液仓;6—轴承座;7—外轴;8—电机;9—油缸杆;10—同步轮;11—离合器;12—旋转接头;13—称质量传感器;14—液压站;15—稀油站;16—机架;17—机座;18—减振器;19—滤布;20—出料阀;21—含氧量传感器;22—进料口。

图1 翻袋式离心机整体结构

Figure 1 Overall structure of invertible filter centrifuge

外轴通过2个轴承支撑固定在机架上,转鼓固定在外轴左端,同步带轮固定在外轴右端。主轴驱动电机通过同步带和带轮带动外轴作旋转运动,外轴通过导向滑块带动内轴作同步转动。液压系统分成2路:一路通过外部的控制器对离合器进行控制,实现外轴与内轴的离合联动;另一路通过旋转接头进入活塞轴内部2个互为进出口的油孔,使内轴与活塞轴组成油缸活塞系统,推动内轴作轴向运动,实现翻袋和转鼓盖闭合过程。同时,利用离合器对内轴进行限位。机架下端设有称量传感器,控制转鼓中悬浮液的质量。机架下端设置有4个支撑点,每个支撑点下端栓接有避振弹簧。

1.1 液压驱动式双轴转鼓翻转结构

滤袋翻转机构的优劣决定着转鼓在卸料状态时滤袋能否顺利翻转^[5],是该机型的关键部件。笔者提出了一种滤袋翻转机构,即通过液压系统与机械机构相结合,实现在液压系统控制下的机械式翻袋,其结构如

图 2 所示。滤袋为筒状,两端包有不同直径的“O”形圈,大端用压圈固定在转鼓口,小端用压圈固定在推料盘上。卸料操作时,在同步旋转油缸与活塞的作用下,内轴沿图 2(b)中箭头的方向推出滤饼并带动滤布外

翻,滤布的内表面变成了外表面,在设定的卸料转速下完成滤饼卸出和滤布再生操作;随后收回内轴并通过离合器锁紧,并进入下一个工作循环,所需动力采用液压驱动。

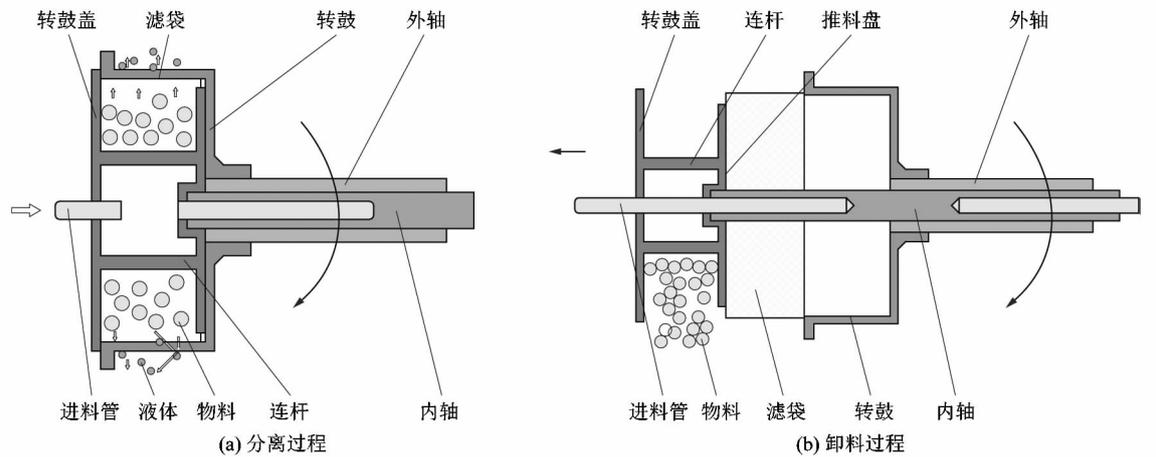


图 2 翻袋式离心机翻袋主要工作原理

Figure 2 Main working principle of invertible filter centrifuge

项目设计的滤袋翻转机构是通过控制离合器与液压系统实现翻袋过程。与常用的电机驱动翻袋机构相比,无需电机驱动,减少了工况控制难度。液压油由旋转接头与活塞杆内设置 2 个互为进出口的油路通道导入油缸,驱动内轴的轴向运动。离合器控制过滤时内轴的位置,保证转鼓与转鼓盖的密封比压,如图 3 所示。

示离心鼓内物料质量以及物料的质量变化^[6]。整体采用全密封设计,分成加工区域(物料接触区域)和驱动区域两部分。其中,加工区域又可分为固体出料仓和过滤仓两部分。考虑到原料药等必须在洁净区内过滤,可以将与物料有接触的加工区域设在洁净区域以内,而主机等驱动部件设在洁净区域以外。

该翻袋式离心机可以通过 CIP 在线清洗系统在密闭环境中进行有效清洗,也可向离心机内部加入清洗溶液进行浸泡式清洗,达到清洁、灭菌目的^[7]。

1.2 双轴转鼓结构的振动特性

分析确定离心机使用过程中可能存在的各个工况,包括不限于除氧工况、过滤工况、洗涤工况和卸料工况等^[8]。采用 ANSYS 有限元软件对双轴转鼓结构进行简化,如图 4 所示。进而开展上述工况下的模态、谐响应和瞬态等动力学分析,获得结构的应力应变响应及其动力学响应。讨论物料质量、转速等因素对离心机振动特性的影响,从而对结构进行改进。

1.3 离心机样机负载试验研究与控制优化设计

为实现离心机的连续自动化生产,针对翻袋式离心机的操作工艺,选定合适物料进行负载试验研究。为了保证具有明显的非线性、时变、快速等特点的过滤过程的稳定性,设计了对过程进行实时测量与在线控

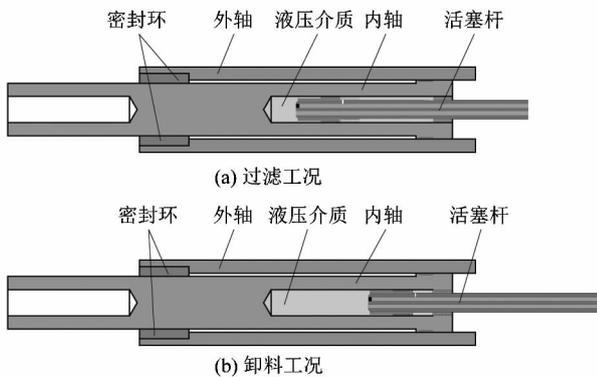


图 3 液压驱动式双轴转鼓结构原理图

Figure 3 Schematic diagram of hydraulically driven two-axis drum structure

压力传感仪安装在离心机的尾部,可以将位移转变为电信号,通过可编程控制器进行信号处理,直接显

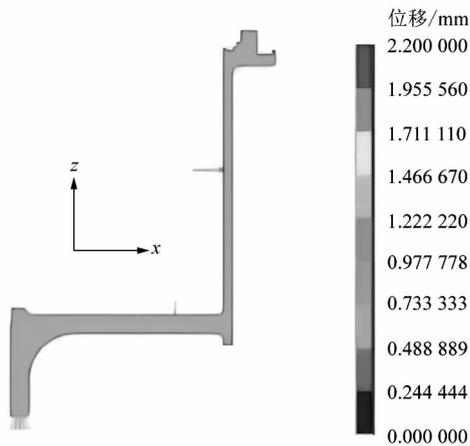


图4 转鼓结构的有限元模型简图
Figure 4 Schematic diagram of finite element model of drum structure

制系统。控制系统包括 PLC、D/A 装置、执行机构、被控对象和测量反馈装置,实现以下功能:①对被控参数,包括轴承温度和振动、机壳锁定状态、双重的转速及过载情况等参数的瞬时值实时采集;②对采集到的被控参数的状态量进行分析,研判控制过程,并根据事先参数设定,适时地向执行机构发出控制信号并执行^[9]。系统实时监控物料质量、氧含量、温度、压力和电机功率等参数,以产品湿度、能耗等为优化目标参数,制定最优加料-洗涤-甩干-卸料策略,进而实现离心机的智能化运行。

2 试验及结果分析

2.1 选用设备及设备参数

选用的翻袋式离心机型号为 FWZ-560,设备参数如表 1 所示。

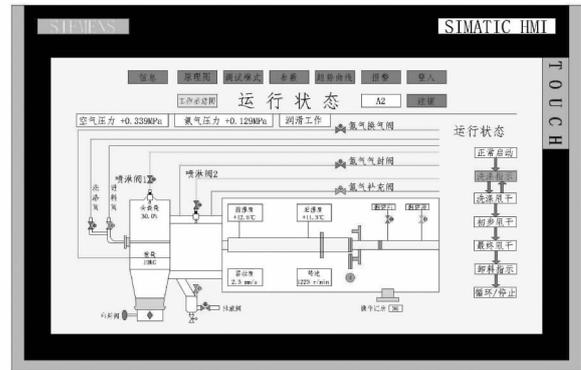
表 1 设备参数清单

Table 1 List of equipment parameters

转鼓直径/mm	公称容积/L	最大装料质量/kg	最高转速/(r·min ⁻¹)	分离因素
560	42	38	2 400	1 790
过滤面积/m ²	主机功率/kW	辅机功率/kW	整机质量/kg	外形尺寸/(mm×mm×mm)
0.44	22	0.25/0.27/1.50	3 250	2 600×1 500×1 906

2.2 试验操作过程工艺优化设置

离心机主机界面和参数设置如图 5 所示。



(a) 系统主界面



(b) 操作参数设置界面

图 5 翻袋式离心机系统主界面和参数设置
Figure 5 Main interface and parameter settings of invertible filter centrifuge system

开启离心机电源,先设置好离心机正常启动的各个参数,对转鼓质量进行校正,进行去皮操作,检查控制面板上各参数处于正常状态,然后启动离心机;根据设置好的参数由程序控制离心机运行状态。正常启动状态时,开始填充氮气使系统的氧的质量分数降低到 6% 以下,主轴转速上升;当转速达到填料转速(1 220 r/min)时,进料气动阀开启,开始进料。根据设定进料最大质量和最小质量及之间的时间,当进料到最大质量(20 kg)时进料阀关闭;在设定的时间(61 s)内,质量降至最小质量(16 kg)时,进料阀门开启,再次进料,直至设定的时间内,转鼓内的物料质量大于最小值时,进料程序结束。维持转速不变进入洗涤程序,设定洗涤次数(5 次)和时间进行循环洗涤甩干,维持转速不变进入初步甩干程序,按设定时间(60 s)运行完成后,转速开始增加直至最终转速(2 400 r/min),进入最终甩干步骤,持续 300 s,甩干结束后,转速开始下

降,降到卸料转速(350 r/min)时,开始出料。下料出口可连接物料桶或工艺管道至下一设备。全过程可通过出管视镜观察离心母液是否存在漏料,记录整个离心过程时间;最后离心出料取样与平板离心机出料取样进行对比,来判断翻袋离心机是否满足粗品离心

要求。

2.3 试验过程

2.3.1 第1次调试(07月19日中午12时左右)

第1次调试物料状态如图6所示。第1次调试情况如表2所示。

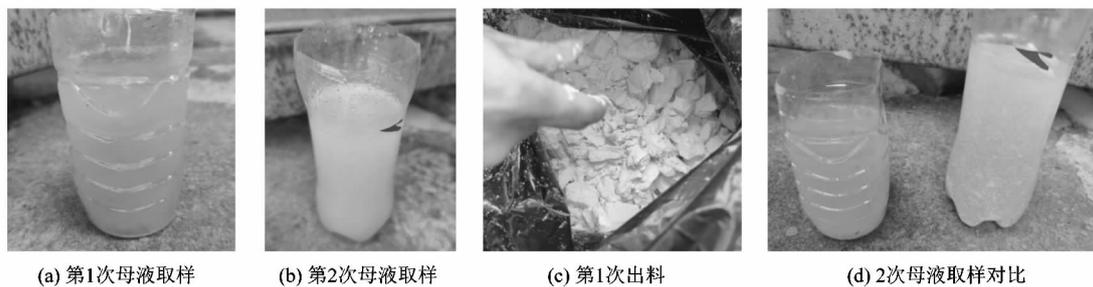


图6 第1次调试物料状态

Figure 6 Material state during first debugging

表2 第1次调试情况

Table 2 First debugging situation

时刻	现象
12:15	开启离心机开启设备
12:22	进料,视镜母液澄清
12:25	第1次取母液观察
12:28	视镜开始出现较多泡沫,12:30 泡沫上开始有白色物质,有漏料现象
12:32	第2次母液取样
12:47	因流速减慢,泡沫开始明显减少
12:56	出料称质量约9.3 kg(设定20 kg),主轴温度45和47℃;第1次出料,产品外观为淡黄色
13:14	2次母液取样沉淀情况对比

2次母液取样沉淀情况对比,经过分析与讨论,判定存在漏料现象。究其原因,初步认定为滤袋问题,拟

更换滤袋后再进行第2次调试。另外,试验中存在出料质量与设定不符问题,经分析认为是管道未连接好,对离心机称量系统有干扰。

2.3.2 第2次调试(07月21日11时左右)

第2次调试情况如表3所示,第2次调试物料状态如图7所示。

表3 第2次调试情况

Table 3 Second debugging situation

时刻	现象
11:09	开始进料
11:14	第1次母液取样
11:20	第2次母液取样
11:51	完成出料,称质量15.5 kg(设定20 kg),主轴温度41.6℃

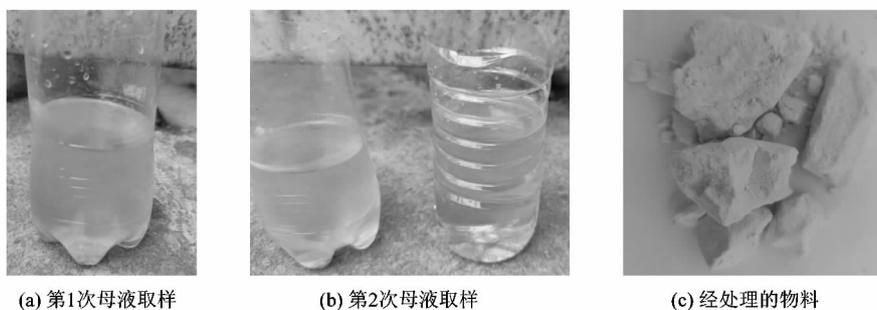


图7 第2次调试物料状态

Figure 7 Material state during second debugging

到出料时,视镜处未观察到明显气泡,取母液进行对照观察,未发现漏料现象。出料质量与设定质量相差不大,符合设定要求。最终取样的产品外观为淡黄色。

翻袋离心机出料取样与平板离心机处理过的物料进行取样对比,如图 8 所示。在取样袋中将样品捏碎后,翻袋离心机样品比平板离心机样品要硬。翻袋离心机附着在取样袋上的物料很少,说明翻袋离心机样品较平板离心机样品水分少,湿度小。设备安装与测试现场如图 9 所示。

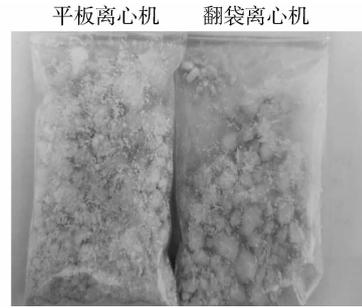


图 8 平板离心机出料取样与翻袋离心机取样对比
Figure 8 Comparison of sampling from flat plate centrifuge and sampling from invertible filter centrifuge

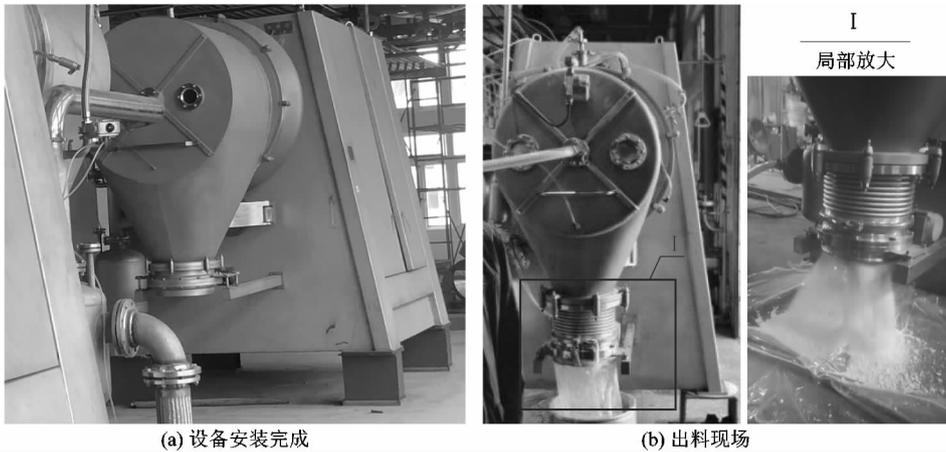


图 9 设备安装与测试现场
Figure 9 Equipment installation and test site

3 结论

针对传统刮刀卸料离心难以满足安全、环保和 GMP 要求等问题,课题组设计了一种液压系统与机械机构相结合的自动出料结构的翻袋式离心机。研发的 560 型翻袋式离心机进行空车及负载试验,经过多次调试表明:设备在更换过滤袋后(涤纶 120-16),未出现明显跑料现象,整个过程都是全自动进行,密闭操作,不破坏物料晶体,无残留物料,并且滤布清洁,全过程下来近 50 min;现场气味很小,在全速甩干时转速 2 400 r/min 时,离心机未出现明显振动,未出现发热发烫现象。经干燥失重检测,平板离心机出料的含水质量分数为 28.6%,翻袋式离心机出料的含水质量分数为 20.8%,降低了 7.8%,为下工段干燥带来极大的方便。样机经测试与企业现场使用说明该设备实现高分离因素,出料含水质量分数低,能够很好满足 GMP 生产规范,可应用于制药、化工和食品等行业。

参考文献:

- [1] 孙启才,金鼎五. 离心机原理结构与计算[M]. 北京:机械工业出版社,1987:338.
- [2] 王一平,黄建中. 离心机在制药工业应用中的技术要求[J]. 过滤与分离,2005,15(4):37.
- [3] PATNAIL T. Pharmaceutical inverting filter centrifuge design for clean rooms[J]. Filtration and Separation,2014,51(4):16-17.
- [4] 范德顺,李焕,黄钟. 翻袋式离心机简介[J]. 过滤与分离,2000,10(3):35.
- [5] 范德顺,钱才富,徐鸿,等. 翻袋式离心机滤袋翻转机构研究[J]. 石油化工设备,2004,33(1):13.
- [6] 陈冠胜,唐晋滨. 翻袋式离心机在原料药固液离心分离工艺上的应用[J]. 机电信息,2005(8):51.
- [7] 刘振文,宋炜. 翻袋式离心机与 GMP[J]. 设备管理与维修,2000(8):19.
- [8] 陈崔龙,张德友,方毅,等. FWZ 型翻袋离心机螺纹副推料装置的设计计算[J]. 化工机械,2016,43(1):43.
- [9] 李曼. 自动化生产中的计算机控制技术[J]. 数字技术与应用,2013(3):1.