

# 一种新型立式隔膜压滤机的研制及应用实践



白怀磊<sup>1</sup>, 徐波<sup>2,\*</sup>, 杨伟<sup>3</sup>, 李雪源<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 山东铝业有限公司机电设备中心, 山东淄博 255000

<sup>2</sup> 临沂大学机械与车辆工程学院, 山东临沂 276000

<sup>3</sup> 中铝山东有限公司氧化铝厂, 山东淄博 255000

<sup>4</sup> 临沂市电力学校, 山东临沂 276000

**摘要:** 为了解决针对传统立式压滤机运行中存在故障率高、综合成本高等问题, 在分析立式压滤机工艺原理和常见故障的基础上, 对新型立式隔膜压滤机在过滤单元结构、滤布驱动方式、密封、卸料压紧装置等方面进行了创新性设计改进, 解决常见的故障问题, 提高了压滤机的生产效率。新型立式压滤机采用机液组合式丝杠螺母压紧装置, 分层驱动运行, 单双端卸料选择, 全金属结构滤框和全橡胶材料密封结构等方式, 实现了不同粒径范围物料的高效过滤。研制的新型立式隔膜压滤机经过 4A 沸石、微粉氢铝、分子筛、A/C 发泡剂等多种物料与工况的工业应用, 取得了较好效果, 得到了用户认可。

**关键词:** 机液组合; 分层驱动; 单端卸料

**DOI:** 10.57237/j.mse.2023.04.001

## Development and Application of a New Type of Vertical Diaphragm Filter Press

Bai Huailei<sup>1</sup>, Xu Bo<sup>2,\*</sup>, Yang Wei<sup>3</sup>, Li Xueyuan<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Mechanical and Electrical Equipment Center of Shandong Aluminum Co., Ltd., Zibo 255000, China

<sup>2</sup>School of Mechanical & Vehicle Engineering, Linyi University, Linyi 276000, China

<sup>3</sup>Aluminum Oxide Plant of China Aluminum Shandong Co., Ltd., Zibo 255000, China

<sup>4</sup>Linyi Electric Power School, Linyi 276000, China

**Abstract:** In order to solve the problems of high fault rate and high cost in the operation of traditional vertical filter press, this paper analysis the process principle and common faults of the vertical filter press, and innovatively designs the filtering unit structure, filter cloth driving method, sealing, unloading and pressing device of the new vertical diaphragm filter press. This design solves common fault problems and improves the production efficiency of the filter press. The new vertical filter press adopts the mechanical hydraulic combination screw nut pressing device, layered drive operation, single and double end unloading selection, all metal structure filter frame and all rubber material sealing structure to achieve efficient filtration of materials in different particle size ranges. The new vertical diaphragm filter press developed has achieved good results and been recognized by users through industrial application of 4A zeolite, micro powder

\*通信作者: 徐波, lyxuber@163.com

收稿日期: 2023-08-25; 接受日期: 2023-09-26; 在线出版日期: 2023-10-09

<http://www.mechscieng.com>

aluminum hydrogen, molecular sieve, A/C foaming agent and other materials and working conditions.

**Keywords:** Mechanical Fluid Combination; Layered Driving; Single End Unloading

## 1 前言

立式压滤机又称滤布行走式全自动压滤机，二十世纪六十年代出现于前苏联，后来德国、芬兰、美国、日本等国家也相继制造该种过滤机，随着各种自动化、液压等新技术的应用，该机已成为一种全自动、高效、节能的先进固液分离设备。能够广泛应用于矿山、冶金、有色、化工、环保、医药、食品等行业的物料洗涤、过滤脱水过程[1]。具有工作范围广、滤饼水分低、自动化程度高等优点[2]。

近年来，中国各研究机构和企业通过消化吸收国外进口设备，仿制出了各种形式的传统立式自动压滤机。本文所述的立式压滤机是在相同过滤原理下创新设计的一种新型高效隔膜压滤机。

## 2 立式压滤机工艺原理

立式压滤机是根据加压过滤原理，在压差的作用下，物料经过滤布过滤实现固液分离[3, 4]，其工作过程基本由过滤单元压紧、进料过滤洗涤、滤饼挤压脱水、滤饼吹风干燥、滤饼排放等组成（参见图 1 示意图）。滤饼排放后，再次转为过滤单元压紧，至此，完成一个工作循环，进入下一个工作循环。

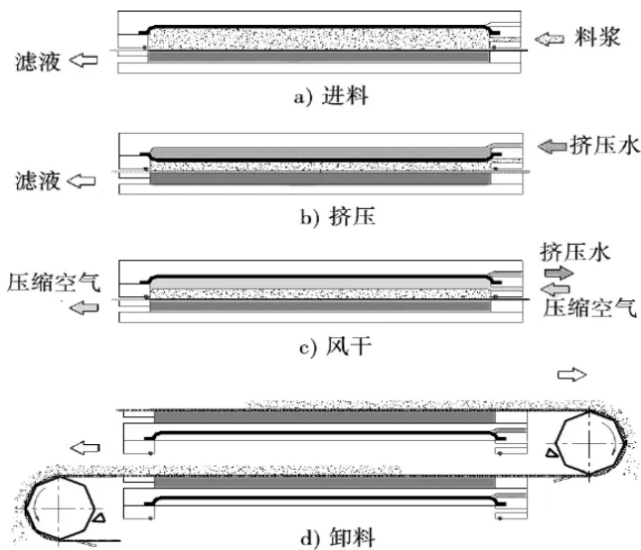


图 1 立式压滤机工艺原理示意图

## 3 传统立式压滤机目前现状及分析

目前传统立式压滤机结构大都采用液压缸压紧机构及整张连续式滤布过滤，滤布一般采用复丝编织而成[5]，由于其结构上的致命弱点，导致其故障率高，维修难度大且维修时间较长[6]，运行成本高，从而极大地限制了其推广应用。主要体现在以下几方面：

### 3.1 滤室易变形

传统立式压滤机上滤框为平面结构，中间无加强筋，受周期性压力的作用，平面结构极易发生变形，螺栓紧固处易损坏，很难整形，易形成泄漏点。图 2 所示为传统立式压滤机变形失效后的过滤单元格栅框。



图 2 变形失效后传统立式压滤机过滤单元格栅框

### 3.2 密封易失效

传统滤板之间的平面密封为分段式复合橡胶条，横截面为“类梯形”结构，中间规则布置不锈钢板条，用橡胶包裹。密封条受周期性压紧力压缩，内含的不锈钢条相当于刀刃，每次压缩都会对橡胶从里面进行破坏，造成密封条局部失效，形成泄漏点，影响生产。

### 3.3 滤布寿命短

传统立式压滤机为一张滤布过滤，两端缝合在一起，构成环形结构，在入料与卸料“S”形行走过程中，易发生滤布跑偏情况，虽设置纠偏装置，但纠偏效果不理想，跑偏后极易损坏滤布[7]。当滤布上出现局部破损时，必须更换整张滤布，导致运行成本大增。且现场更换滤布，用时长，劳动强度大。

### 3.4 功率损耗大

传统立式压滤机的高压液压缸及液压站一直处于工作状态, 原因是工作时采用底部液压缸向上顶起滤板, 滤板到位后, 需要继续施加压力, 才能压紧滤板。挤压时, 高压水系统压力为 1Mpa, 对液压缸又产生一个很大的向下的压力, 使其一直处于高压状态[8], 常发生液压缸密封失效情况, 导致其故障率高。

## 4 新型立式隔膜压滤机的创新设计

### 4.1 过滤单元结构设计

1) 过滤单元是压滤机的核心部件, 过滤单元上滤框设计成焊接结构, 如图 3 过滤单元局部示意图所示。边框由钢板焊接而成, 拐角处圆滑过渡, 中间底部焊接钢板, 每隔一定距离增加加强筋, 筋板底部设置 3-5 处流道。

新结构增强了上滤框的强度和刚度, 解决了传统上滤框刚度小易变形、难机加工的问题, 也避免了上滤框在制造过程中由于放置、吊运而引起的变形问题。

2) 传统立式压滤机采用整张滤布进行过滤, 滤布绕过过滤单元, 运行时滤布所受拉力为经过各层过滤平面所受摩擦力及各导向辊摩擦力之和[9]。滤布绕过

过滤单元两端的导向辊所形成的包角不能太小, 也不能太大, 否则容易断裂破损, 下滤框高度只能在 30-42mm 之间选择, 不能实现厚度较大滤饼。

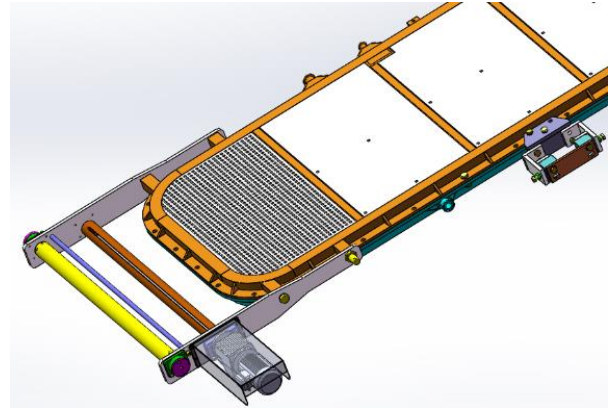
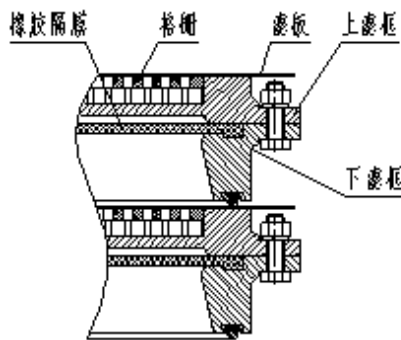
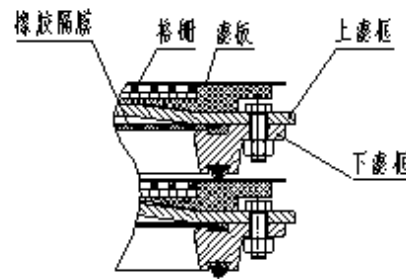


图 3 过滤单元局部示意图

新型立式压滤机采用独立滤布、独立驱动, 单层滤布只受一层过滤平面的摩擦力, 所受拉力大大降低, 又两端辊子为驱动辊, 解决了滤布过导向辊包角过大或过小引起摩擦力急增的难题, 滤室高度不再受限制。可根据生产需求, 滤室高度可在 40-70mm 选择, 同等工况条件下可以实现设备最大产能。图 4 所示为新型过滤单元局部与传统过滤单元局部对比图。



新型立式压滤机过滤单元结构图



传统立式压滤机过滤单元结构图

图 4 过滤单元局部截面结构对比

### 4.2 密封条的创新设计

立式压滤机的密封结构形式不同, 但是密封压力的计算基本相同。当立式压滤机设备在工作状态时, 密封受力变形, 填充上下过滤单元及滤布间的间隙, 保证密封效果。此时, 密封的受力情况是由受压过滤介质作用在滤腔产生的介质压力 $F_{介}$ 与过滤单元接触面

之间的最小垂直密封压力 $P_{min}$ 两部分组成。根据密封压力 $P_{min}$ 计算经验公式[10]:

$$F_0 - F_{介} \geq P_{min} \quad (1)$$

$$P_{min} = 100 \cdot S_1 \cdot q \quad (2)$$

$$F_{介} = 100 \cdot Q_0 \cdot S_2 \quad (3)$$

式中,  $F_0$ ~动力单元施加给滤板组的压紧力,  $N$ ;

$F_{介}$ ~工作时受压过滤介质作用在滤腔产生的介质压力,  $N$ ;

$P_{min}$ ~过滤单元接触面之间的最小垂直密封压力,  $N$ ;

$S_1$ ~橡胶密封的横截面积,  $cm^2$ ;

$q$ ~橡胶密封的单位弹力,  $cm^2$ ;

$Q_0$ ~过滤单元滤腔内的最大压强,  $MPa$ ;

$S_2$ ~过滤单元承受液体压力的有效面积,  $cm^2$ 。

依据密封压力经验公式, 确定更合理的密封条结构形式。传统橡胶密封条内含不锈钢条, 如图 5 传统密封条结构示意图所示, 使用寿命短[11]。新设计密封条根据计算结果, 合理放大密封条截面积, 去除不锈钢条, 采用改性天然橡胶, 提高抗撕裂能力、抗疲劳能力, 同时改为“山峰型”平滑过渡结构, 如图 6 新型密封条结构示意图所示, 避免了应力集中, 较好解决了物料泄漏现象。



图 5 传统密封条示意图



图 6 新型密封条示意图

新型密封结构已在国内几家大型新材料企业和化工企业使用的立式压滤机上采用, 整机密封效果及可靠性寿命是传统立式压滤机的 2~3 倍。

### 4.3 单个过滤单元独立驱动滤布的创新设计

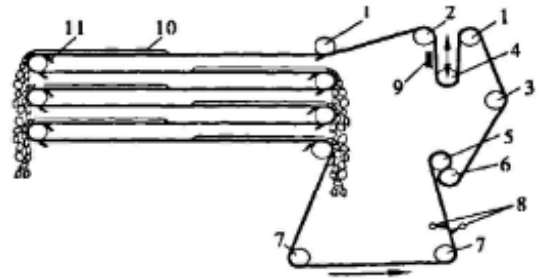
1)传统的立式压滤机的滤布驱动系统结构复杂, 如图 7 所示, 在滤布驱动装置的进布侧安装有滤布纠偏装置, 不可靠, 故障率高。

当滤布过滤区域局部受损时, 需更换整张滤布。更换时, 需要依次穿过导向辊、驱动辊, 换布周期长, 劳动强度大, 使设备利用率降低导致压滤机生产效率

低[12]。

2)新型立式压滤机对滤布驱动系统进行了优化, 每层过滤单元为单独滤布, 图 8 所示为优化后的滤布驱动系统。每层滤板的滤布驱动系统各自独立。

当滤布破损时, 只更换该层滤布即可, 成本大大降低。更换滤布时间大大缩短, 降低了劳动强度。滤布驱动系统距离短, 运行可靠。



1.张紧机构导向辊 2.脉冲检测辊 3.纠偏辊 4.张紧辊 5.驱动辊 6.挤压辊 7.接料槽导向辊 8.滤布清洗喷嘴 9.滤布接缝探测器 10.滤饼 11.滤饼刮刀

图 7 传统立式压滤机滤布驱动系统

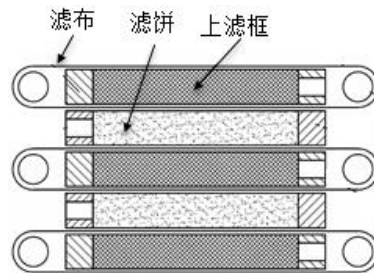


图 8 优化后的滤布驱动系统

3)独立驱动滤布的创新设计具有如下优点:

a、滤布单向过滤为选型带来方便, 可采用单面过滤层和骨架层组合的滤布结构, 降低滤布的成本。单向过滤滤布的结构如下图 9 所示:



图 9 单向过滤滤布结构示意图

b、避免了滤布跑偏, 大幅提高了运转率。

c、某层滤布有局部损坏, 可单独更换。

d、避免了因滤布两面接触滤饼, 而污染滤液的致命缺点。



e、即可双端卸料又可单端卸料，便于设备配置和操作。

f、单端卸料为减少辅机设备和土建造价创造条件。如图 10 和图 11 所示：

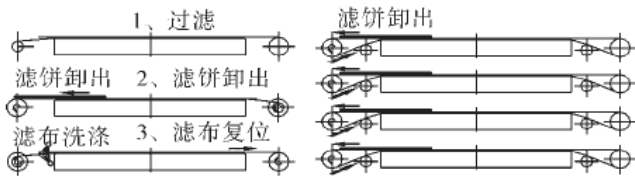


图 10 单端卸料示意图



传统立式压滤机卸料时需两端卸料，增加下部输送设备及安装平台

图 11 传统立式压滤机卸料配置图

#### 4.4 压紧装置的创新设计

1) 传统立式压滤机的滤板升降，靠下部的油缸提供动力，工作时，油缸不仅受到滤板、物料的自重，还受到隔膜挤压水挤压物料时的向下压力，工作时承受重载。为向上压紧滤板，油缸必须进行保压，一直处于高压工作状态，经常出现油缸密封失效，漏油现象，直接导致油缸工作压力下降，滤板压不实，发生泄漏，影响生产[13, 14]。

2) 新型立式隔膜压滤机通过对提升、压紧装置的改进设计，通过液压系统与机械传动相结合的方式实现驱动机构的上升、下降，即液压系统—液压马达—同步齿箱—丝母—丝杠提板压紧机构（见图 12 改进后的滤板升降驱动系统和图 13 液压系统示意图）。利用丝杠丝母的自锁性，液压马达驱动丝母转动，丝母在转动的同时沿丝杠轴向移动，从而带动机头提升或压紧滤板。由于丝杠丝母具有自锁性，可靠保证系统的密封效果。同时液压系统在丝母自锁压紧后停止工作，设备无功耗。

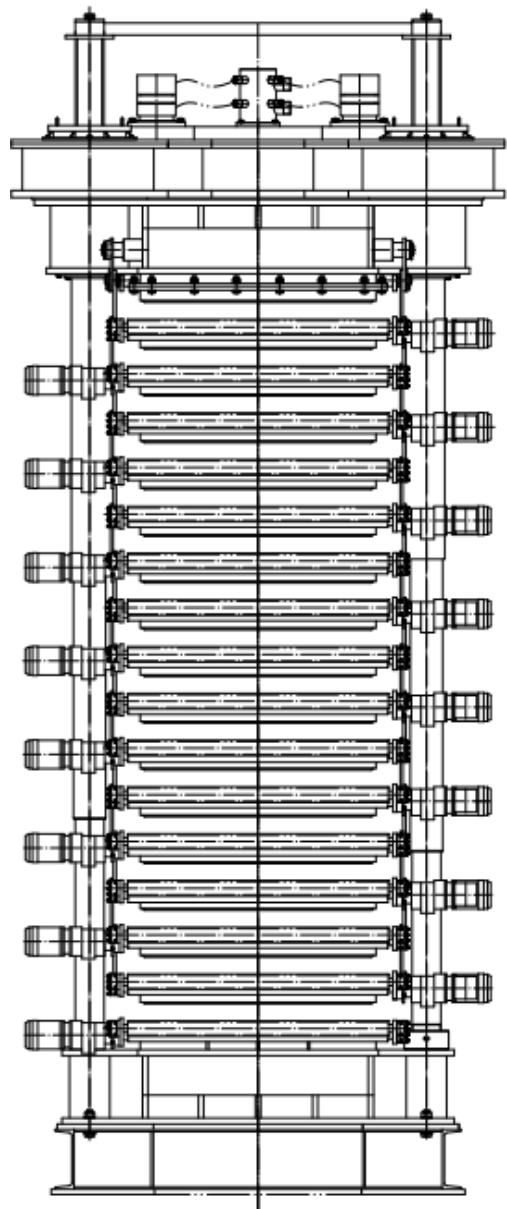




图 12 改进后的滤板升降驱动系统

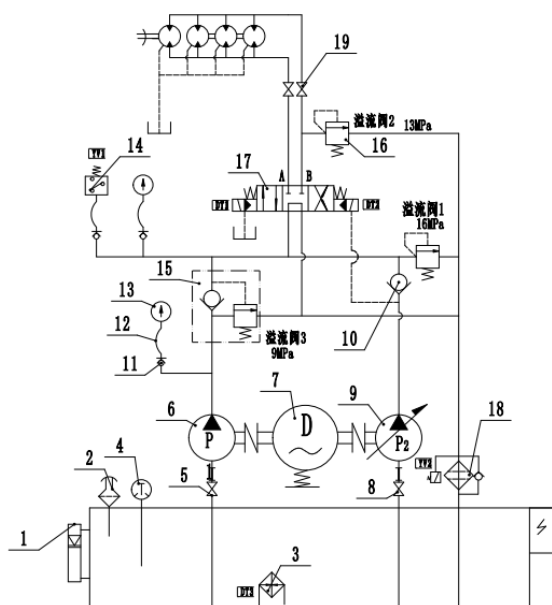


图 13 液压系统示意图

针对丝母-丝杠提升、压紧机构的同步齿箱相对复杂问题，专门制作了驱动部分的三维组装示意图，方便设备组装与用户检修，见图 14 所示。

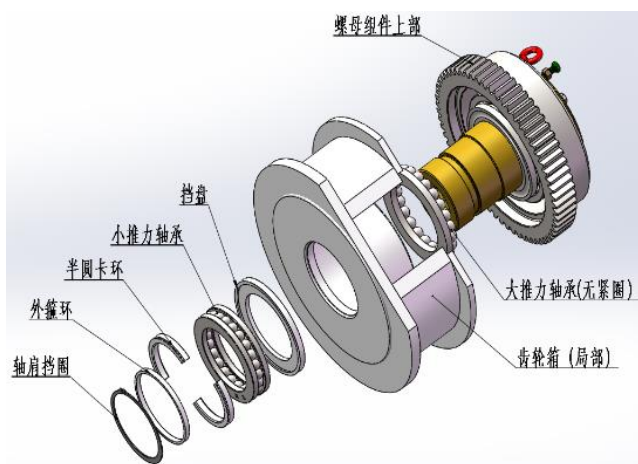


图 14 丝母丝杠同步齿箱装配爆炸示意图

3) 压紧装置的创新设计具有如下主要优点[15]。

a、可大幅提高过滤和压榨压力，而不会产生板间漏料现象。

b、避免了液压缸式压紧机构经常出现的机头卡死现象。

c、液压泵的运转时间缩短了 95%，可降低电耗，提高液压系统的寿命。

d、新型滤板结构，可用 1.6MPa 的充水隔膜挤压，可大幅降低滤饼水分。

## 5 新型立式隔膜压滤机的实践应用

新型立式隔膜压滤机在改进设计后，先后经过 4A 沸石、微粉氢铝、分子筛、A/C 发泡剂等多种物料与工况的工业应用，以可靠性高、运行成本低、生产指标稳定等优点得到了用户的认可。

### 5.1 特种分子筛应用

某分子筛企业原有 4 台 100m<sup>2</sup> 的板框压滤机进行分子筛料浆压滤，因运行成本过高更换为一台 25m<sup>2</sup> 新型立式隔膜压滤机，使用后运行成本大幅降低（滤布寿命为 3~6 个月，隔膜寿命为 12~15 个月，密封条寿命为 10~12 个月），客户非常认可设备运行指标。下面表 1 为设备更换前后分子筛原粉压滤机生产指标对比表。

该客户在此生产线上后续实现了多类型、广粒度范围分子筛物料过滤洗涤的柔性生产，均能保证产品的生产指标，实现了一机多能。

### 5.2 4A 沸石应用

国内某化工企业有两条 4A 沸石原粉生产线，一条线采用我单位生产的 2 台 40m<sup>2</sup> 新型立式隔膜压滤机，另一条线采用国内某公司生产的 3 台 45m<sup>2</sup> 传统立式压滤机，易损件运行指标及产能指标对比如下表 2 所示。

### 5.3 其它应用

新型立式隔膜压滤机，可根据物料工况自身的特点，根据工艺配置，自由组合过滤循环动作流程，实现物料固液分离及洗涤。还可通过离心泵和柱塞泵相结合的方式实现快速、高压过滤的效果，即先通过离心泵大流量低压过滤，到达设定压力值后自动切换为柱塞泵实现小流量高压过滤的目标。

## 6 结论

通过研究和分析传统立式压滤机的设计结构、性能表征结果,经过在结构、驱动方式、密封、卸料等方面的关键创新设计,制作实施后解决了传统立式压

滤机的设备系统缺陷,表现出可靠性高、运行成本低、操作维护简单、生产指标好的特点。研发的新型立式隔膜压滤机经过不同工况的应用实践,在产品水分、使用寿命、操作工况、运行成本等方面均得到了用户的认可,目前正在市场大面积推广。

表 1 分子筛原粉压滤机更换前后生产指标对比表

设备名称	过滤面积 m <sup>2</sup>	滤室容积 m <sup>3</sup> /台	数量(台)	循环时间 min	洗水量 (吨)	滤饼 含水率%	滤饼 碱含量	天然气 耗 m <sup>3</sup> /t	单班产能(折 干) m <sup>3</sup>
板框压滤机	100	1.5	4	120	30	55-60	超标	100	10
新型立式隔膜压滤机	25	1.5	1	40	7	20-25	达标	30	14

表 2 4A 沸石原粉压滤机易损件寿命及产能指标对比表

设备名称	过滤面积 m <sup>2</sup>	滤室容积 m <sup>3</sup> /台	数量 (台)	滤布寿命 (小时)	隔膜寿命 (月)	密封条寿 命(月)	设备运转 率%	月产能(折 干)吨	备注
传统立式压滤机	45	1.89	3	720	2~4	2~4	60	2700	
新型立式隔膜压滤机	40	2.4	2	1200	4~7	3~6	95	4000	其中 1 台运行时间减半

## 参考文献

- [1] 刘金强. 全自动立式压滤机近年的发展和未来发展趋势 [J]. 冶金管理, 2020 (03): 172-173+175.
- [2] 丁启圣, 王维一. 新型实用过滤技术 [M], 冶金工业出版社, 2005.
- [3] 李品福, 韩彬. 立式压滤机在高泥锡富中矿的生产实践 [J]. 中国矿山工程, 2019, 48(01): 54-56+60.
- [4] Svarovsky L 著, 朱企新, 金鼎五主译. 固液分离 [M], 第 2 版, 化学工业出版社, 1990.
- [5] 夏祥坤, 郇红莉, 张翰文. 立式压滤机滤板组密封结构及密封力的探讨 [J]. 装备维修技术, 2019 (04): 34.
- [6] 徐兆超. 立式压滤机常见故障分析及优化方案 [J]. 世界有色金属, 2018 (23): 36-38.
- [7] 李贵兵, 柴国义, 曹红红等. 铁精矿浆脱水压滤机滤布异常更换原因的分析 [J]. 过滤与分离, 2014, 24(02): 32-35.
- [8] 黄鹏宇. 选煤厂厢式隔膜压滤机故障分析与处理 [J]. 机械管理开发, 2022, 37(07): 341-342.
- [9] 曲景奎, 隋智慧, 周桂英等. 固—液分离技术的新进展及发展动向 [J]. 过滤与分离.
- [10] 谭蔚, 石建明, 朱企新. 国外过滤与分离技术的进展 [J]. 化工机械, 2002.
- [11] 吴鹏云. 厢式压滤机存在的问题及改进措施 [J]. 矿山机械, 2013, 41(03): 140-142.

- [12] 朱哲新. 一种隔膜压滤机免拆卸滤布清洗方法及清洗系统 [J]. 机电技术, 2020 (06): 25-26+55.
- [13] 郭伟杰. 选煤厂压滤机脱水工艺研究 [J]. 广州化工, 2021, 49(15): 176-177.
- [14] 王立波, 刘钦聚. 板框压滤机常见故障及处理方法 [J]. 洁净煤技术, 2019, 25(S1): 87-90.
- [15] 李正训. 压滤机新型液压装置的设计 [J]. 煤矿机械, 2016, 37(07): 122-123.

## 作者简介

### 徐波

1975 年生, 副教授. 研究方向为机械产品设计与优化、数字化建模等研究.

E-mail: lyxuber@163.com

### 白怀磊

1972 年生, 高级工程师. 研究方向为机械产品设计与优化、智能化装备研发等研究.

E-mail: 13508945465@163.com

### 杨伟

1971 年生, 高级工程师. 研究方向为工程管理、造价等工作.

E-mail: 896165172@qq.com

### 李雪源

1998 年生, 中职教师. 研究方向为机电产品设计等工作.

E-mail: 1552535233@qq.com