

文章编号: 1001-3571 (2025) 02-0038-06

## 超高压弹性压榨压滤机的研发与应用

朱绍辉<sup>1</sup>, 李建忠<sup>2</sup>, 王学民<sup>3</sup>, 邵校<sup>1</sup>, 王维正<sup>1</sup>, 田亮<sup>3</sup>

(1. 山东聚多士能源科技有限公司, 山东泰安 271000; 2. 山西朔州平鲁区龙矿大恒煤业有限公司, 山西朔州 036899;  
3. 山东能源集团有限公司, 山东济南 250101)

**摘要:** 为实现煤泥深度脱水并促进煤泥压滤脱水技术高效节能发展, 基于提高压榨压力可以有效降低煤泥滤饼水分理论, 创新设计了“弹性滤板+油缸直接压榨”脱水技术路线, 采用“多油缸压紧+内嵌式滤布安装+超高压弹性压榨”一体化技术, 成功研发了 GTY 型超高压弹性压榨压滤机, 并在尔林兔煤矿选煤厂成功投入工业应用。通过采用油缸直接压榨和弹性边框密封挤压等关键技术, 超高压弹性压榨压滤机滤饼压榨压力可达 10 MPa, 滤饼厚度可达 70 mm。在尔林兔煤矿选煤厂应用结果表明, 超高压弹性压榨压滤机可完全取代原有的“隔膜压滤机+热力烘干”煤泥脱水工艺, 单机设备处理能力在 40 t/h 以上, 并将滤饼水分降至 20.0% 以内, 提高了煤泥产品发热量, 经济效益良好。超高压弹性压榨压滤机的研制创新了煤泥压滤脱水技术, 为煤泥深度脱水提供了一个新的技术途径。

**关键词:** 煤泥脱水; 超高压弹性压榨压滤机; 压榨压力; 油缸直接压榨; 弹性滤板; 滤饼水分  
**中图分类号:** TD946.2 **文献标志码:** A

## Development and application of the ultra-high-pressure elastic pressing filter press

ZHU Shaohui<sup>1</sup>, LI Jianzhong<sup>2</sup>, WANG Xuemin<sup>3</sup>, SHAO Xiao<sup>1</sup>, WANG Weizheng<sup>1</sup>, TIAN Liang<sup>3</sup>

(1. Shandong Juduoshi Energy Technology Co. Ltd., Taian 271000, China; 2. Shanxi Shuozhou Pinglu District Long Mine Daheng Coal Industry Co. Ltd., Shuozhou 036899, China; 3. Shandong Energy Group Co. Ltd., Jinan 250101, China)

**Abstract:** To achieve deep dewatering of coal slime and promote the energy-efficient advancement of coal slime pressure filtration technology, an innovative dewatering approach combining elastic filter plates with direct hydraulic cylinder pressing was designed. This methodology is grounded in the principle that increasing compression pressure effectively reduces moisture content in coal slime filter cakes. By integrating three core technologies—multi-cylinder pressing, embedded filter cloth installation, and ultra-high-pressure elastic compression—the GTY ultra-high-pressure elastic filter press was successfully developed and implemented at the Erlintu coal mine preparation plant. Through key technologies including direct hydraulic pressing and elastic frame-sealed extrusion, this filter press achieves a cake compression pressure of 10 MPa with cake thickness reaching 70 mm. Application results at Erlintu coal preparation plant demonstrate that this equipment can fully replace the original "membrane filter press + thermal drying" process. With a single-unit processing capacity exceeding 40 t/h and the ability to reduce filter cake moisture below 20.0%, it significantly enhances the heating value of coal slime products while delivering substantial economic benefits. The development of this ultra-high-pressure elastic fil-

收稿日期: 2024-10-17 责任编辑: 赵宏馨 DOI: 10.16447/j.cnki.cpt.2025.02.005

作者简介: 朱绍辉 (1976—), 男, 山东泰安人, 高级工程师, 从事煤泥压滤、干燥技术和设备的研发与推广工作。  
E-mail: 278774607@qq.com.

引用格式: 朱绍辉, 李建忠, 王学民, 等. 超高压弹性压榨压滤机的研发与应用[J]. 选煤技术, 2025, 53(2): 38-43.  
ZHU Shaohui, LI Jianzhong, WANG Xuemin, et al. Development and application of the ultra-high-pressure elastic pressing filter press[J]. Coal Preparation Technology, 2025, 53(2): 38-43.



移动阅读

ter press represents an innovation in coal slime pressure filtration technology, offering a new technical pathway for deep dewatering of coal slime.

**Keywords:** coal slime dewatering; ultra-high pressure elastic pressing filter press; pressing pressure; hydraulic cylinder direct pressing; elastic filter plate; filter cake moisture

煤炭是我国的主体能源,在能源保供中发挥“压舱石”和“稳定器”的作用<sup>[1]</sup>。随着“双碳”战略的相继提出,意味着我国将持续深化供给侧结构性改革,构建清洁低碳、安全高效的能源体系。推动煤炭清洁高效利用成为保障国家能源安全,实现经济社会高质量发展的重要支撑<sup>[2]</sup>。选煤是煤炭清洁高效利用的源头和基础,为煤炭深加工提供了前提。细粒煤泥脱水作为选煤工艺的重要环节,是洗水闭路循环、提高产品质量和提升企业经济效益的关键。在选煤厂煤泥脱水作业中,压滤机以操作维修方便、滤饼水分低、滤液固体含量少及对物料适应性强等优势,一直是细粒煤泥脱水的首选设备<sup>[3-5]</sup>。然而,传统压滤技术受制于滤板材质和结构、压榨压力的提升难度、滤饼风穿流效果等因素的影响,降水效果与工作效率难以满足选煤生产需求,亟需在材料与技术上有所突破<sup>[6]</sup>。

近年来,压滤技术得到很大进步,业内相继研发出快速入料和卸料、中高压隔膜压榨和强气流穿透等技术<sup>[7]</sup>。在选煤生产常用的煤泥脱水设备有板框压滤机、隔膜压榨压滤机、空气穿流压滤机以及穿流压榨压滤机等机型。不同机型压滤机的脱水原理不同,脱水过程采用的去饱和力主要有:流体静压力、变向剪切压力、强气压穿流脱水<sup>[8-9]</sup>等。板框压滤机利用单一料浆流体静压力进行脱水,滤饼中颗粒互相形成拱桥结构,脱水效果受到限制,滤饼水分一般高达30%。隔膜压榨压滤机采用压缩空气或水充填隔膜,利用隔膜变形产生的二维变向剪切压力破坏颗粒拱桥,通过改变拱桥的几何结构并重新排列滤饼颗粒布序状态,以提高滤饼压缩比来降低滤饼水分。隔膜压榨压滤机采用高压水进行压榨作业,压榨压力最高可达10 MPa,滤饼水分可降至20%以内;但受滤板材质、结构等限制,隔膜压榨压滤机工作压力一般在5 MPa以下,无法长时间在10 MPa工作压力下运行,属于中高压机型。空气穿流压滤机利用压缩空气形成的强气流风吹滤饼,通过置换滤饼拱桥骨架中的空隙水,达到降低滤饼水分、松散物料的效果;该机型多用于浮选精煤降水,脱水效果与气流强度和滤饼空隙中毛细管压力有关,滤饼水分也可降至20%以内<sup>[10]</sup>。

针对空气穿流压滤机用风量大、能耗高的问题,研究改进的穿流压榨压滤机<sup>[11-13]</sup>采用隔膜压榨和强气流风吹滤饼,提高了设备对物料的适应性,但存在工序复杂、压滤周期长、处理能力偏低的问题。此外,现阶段压滤机的自动化程度普遍偏低,通常需要手动操作,人工干预较多,极大限制了其生产效率与使用效果的提高。

随着选煤厂智能化建设的逐步推进,压滤机作为选煤厂细粒煤泥脱水回收的关键设备,未来也必将向结构优化、高效节能和智能化方向发展<sup>[14-15]</sup>。为实现煤泥深度脱水,研究基于煤泥过滤脱水机理,创新设计了“弹性滤板+油缸直接压榨”全新技术路线,采用“压滤机多油缸压紧+内嵌式滤布安装+超高压弹性压榨”一体化技术,研发出超高压弹性压榨压滤机,并对其工业性应用效果进行了分析。

## 1 提高压榨压力强化煤泥脱水的理论基础

若没有穿流功能,一般压滤机的基本工作流程是:合板—入料—压榨—反吹—开板—卸料,其中影响滤饼水分的工序主要为入料、压榨及反吹。目前,常见的压滤机入料工序主要目的是将滤腔内充满煤泥颗粒,并起到一定的过滤作用,从而形成初始滤饼;压榨则是进一步压缩滤饼从而强化脱水过程;反吹则主要是利用气流驱除中心孔中的高水分残余煤泥的过程。

涂亚楠等<sup>[16]</sup>从单滤腔压滤的角度,采用理论计算的方式,分析了入料过程结束后初始滤饼在压榨、反吹工序的降水行为,指出压榨工序是压滤机高效脱水的主要工序,在此阶段实现初始滤饼体积的进一步压缩,且压榨后滤饼水分是压榨前初始滤饼水分和滤饼压缩比的函数(式1);相比之下,反吹的作用相对要低得多,其主要目的是防止中心孔中高水分残余煤泥对产品的污染。

$$M_c = 1 - \frac{1 - M}{1 - \left[ M \left( 1 - \frac{\rho_0}{\delta} \right) + \frac{\rho_0}{\delta} \right] \theta}, \quad (1)$$

式中:  $M_c$  为压榨后的滤饼水分, %;  $M$  为初始滤饼水分, %;  $\rho_0$  为水的密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $\delta$  为煤泥的密

度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $\theta$  为煤泥压缩率, 即煤泥减少的体积占煤泥初始体积的百分比, %。

LV 等<sup>[17]</sup>研究了煤泥的可压缩性, 并分析了初始滤饼在 0~200 MPa 压力下滤饼压缩形变量, 指出煤颗粒和水的体积弹性模量要远高于一般压滤机的压榨压力范围 (一般在 10 MPa 以下), 因此煤颗粒自身的破裂形变可以忽略, 滤饼的压缩主要源于颗粒堆积空隙中的水和气体的排出。

结合 LV 研究给出的压力-压缩量数据及式 (1), 取  $M$  为 35.00%,  $\rho_0$  为  $1.00 \text{ g}/\text{cm}^3$ ,  $\delta$  为  $1.50 \text{ g}/\text{cm}^3$ , 计算了不同压榨压力下的滤饼水分, 并绘制了滤饼水分变化趋势曲线, 如图 1 所示。由图 1 可知, 随压榨压力的提高, 滤饼水分先快速下降后趋于平缓。压榨压力升至 10 MPa 时, 滤饼水分由初始的 35.00% 降至 22.70% 左右; 压榨压力超过 10 MPa 后, 滤饼水分下降并不明显。综合考虑设备材质及运行能耗, 将压榨压力定为 10 MPa 较为合理。

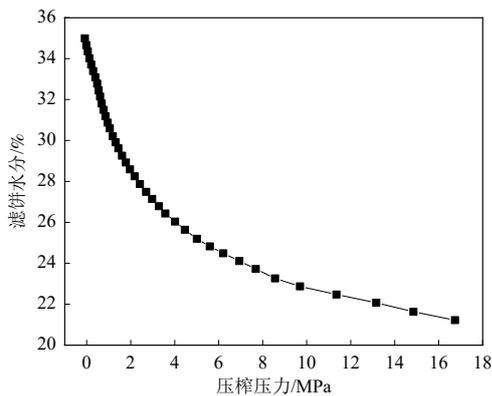


图 1 滤饼水分变化趋势曲线

Fig. 1 Curve of moisture variation trend of filter cake

## 2 超高压弹性压榨压滤机

基于前述分析可知, 提高压榨压力是进一步提高压滤机脱水效果的关键。然而, 当前常见压滤设备提高压榨压力的方式普遍存在效率不高、工序复杂、可靠性低的问题。针对此问题, 采用“压滤机多油缸压紧+内嵌式滤布安装+超高压弹性压榨”一体化技术, 研发了 GTY 型超高压弹性压榨压滤机。超高压弹性压榨压滤机采用高性能可压缩弹性滤板, 在入料过程结束滤饼成型后, 采用油缸直接压榨的方式压榨滤饼, 弹性滤板受挤压后空间减少, 从而使滤饼再次脱水, 可在最大程度上压榨出滤饼中的水分。

### 2.1 结构组成

GTY 型超高压弹性压榨压滤机主要由机架、过滤系统、自动拉板系统、液压系统和电气控制系统五大部分组成, 结构简图如图 2 所示。

(1) 机架。机架是压滤机的主体部分, 主要由油缸座、止推座、横梁等连接组成, 主要起支撑过滤部件的作用, 同时还要承受油缸运动过程中产生的拉力。

(2) 过滤系统。过滤系统是由按一定交序排列在主梁上的滤板、弹性边框和滤布组成, 形成一个过滤滤室。滤板选用优质的镁铝合金并使用先进的数控加工中心雕铣而成, 机械性能良好, 具有强度高、质量轻、耐腐蚀等特点。滤板上安装弹性边框, 弹性边框选用高分子弹性聚合物材料并采用先进的压铸工艺制造, 具有良好的密封性, 能够实现二次压榨。

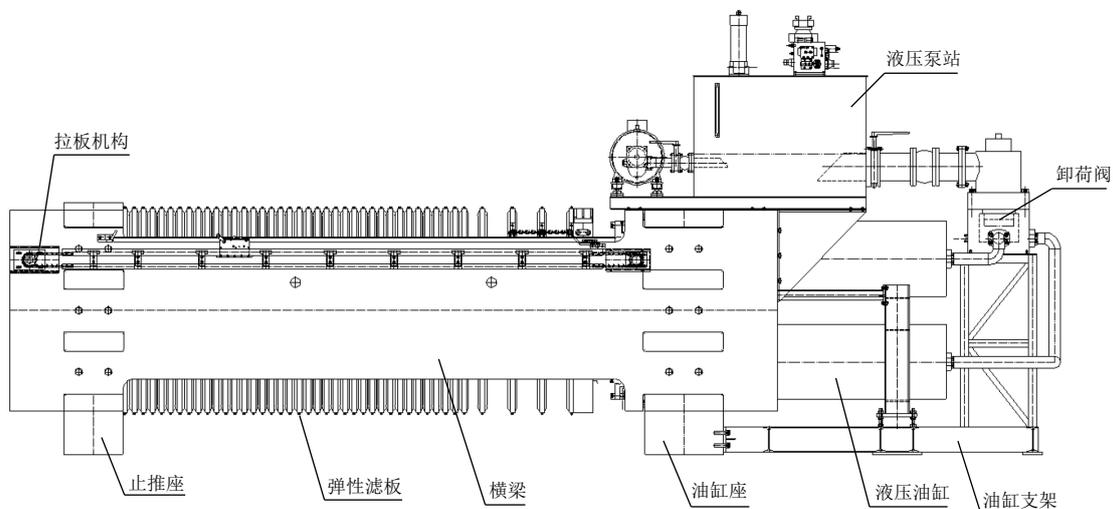


图 2 GTY 型超高压弹性压榨压滤机结构简图

Fig. 2 Schematic diagram of structure of GTY type ultra-high pressure elastic pressing filter press

(3) 液压系统。液压系统(图3)包括油缸、液压泵站及各种控制阀组,是驱动压紧和松开滤板的动力装置。工作时,油缸内的活塞推动压紧板,将位于压紧板与止推座之间的滤板、滤布压紧,以保证滤浆在滤室内进行加压过滤。油缸具备低压启动功能,各油缸摩擦系数相同,工作过程中各油缸同步,行程误差小,能确保压滤机运行平稳灵活、安全可靠。



图3 液压系统

Fig. 3 Hydraulic pressure system

(4) 自动拉板系统。自动拉板系统由液压马达、拉板小车、传动机构和暂停装置等组成。工作时,液压马达带动传动链条从而带动拉板小车运动,将滤板逐一拉开;拉板小车的自动换向是由PLC可编程控制器来控制的;暂停装置可随时控制拉板过程中的停、进动作,以保证拉板机构拉板卸料的顺利实现。该系统可实现自动/手动拉板,拉板速度可调。此外,拉板器及滑道均加有防护装置,上下链盒密闭,以保证拉板系统的清洁和灵活。

(5) 电气控制系统。该系统是设备的控制中心,主要由触摸屏PLC程序控制器、测距传感器、压力传感器、接近开关、超声波明渠流量计、热控开关、空气开关、中间继电器、按钮开关及电源指示灯等组成。压滤机压紧—二次加压—保压—补压—泄压—松开—拉板等工作过程均由系统中的PLC可编程控制器设定的程序统一控制,且具备自动运行检测功能。根据压滤机的实际工作情况,电气控制系统共有三个工作状态,即安装调试时的手动工作状态、自动运行时的自动工作状态和设备检修维护时的维护工作状态,以便于操作。

## 2.2 工作原理

压滤开始时,在油缸的推动作用下,压紧板和滤板快速移动合板,弹性滤板边框四周紧密贴合并轻微变形,形成良好密封;之后,煤泥水在入料

泵的压力推动下,经止推座的进料口进入各滤室内开始过滤;随着过滤过程的进行,固体留在滤室内形成滤饼,液体由滤液排出口明流排出;入料阶段完成后,油缸推动压紧板进一步对滤饼进行二次压榨,由于弹性滤板边框可被压缩,此时油缸的推力主要作用在滤饼上,滤饼压榨压力最高可达到10.0 MPa,可使滤饼中更多的水被挤压排出;压榨阶段结束后,反吹风10 s,将残留在滤板入料中心孔内的煤泥水反吹回搅拌桶内。

## 2.3 技术参数

GTY型超高压弹性压榨压滤机主要技术参数如下:

型号	GTY2000
滤饼压榨压力	最大 10 MPa
滤饼厚度	最大 70 mm (根据煤泥性质有所变化)
处理能力	40 t/h (根据煤泥性质有所变化)
设备尺寸	16 000 mm × 2 360 mm × 4 450 mm
设备质量	120 t

## 2.4 技术特点

(1) 创新了压滤脱水技术,采用“弹性滤板+油缸直接压榨”的技术路线,解决了传统滤布挤压密封不严造成的难以稳定高压作业的问题。

(2) 研发了高强度铝镁合金滤板及高回弹特种聚氨酯弹性体弹性边框,利用弹性边框和多油缸挤压同步实现了密封和压力传导,使作用在滤饼上的压榨压力可达10 MPa。

(3) 简化了压榨工艺,延长了滤布、滤板的使用寿命,实现了煤泥深度脱水。

## 3 工业应用

汇能集团尔林兔煤矿选煤厂原采用6台隔膜压滤机压滤煤泥,并建有一套年处理110万t的湿煤泥热力干燥系统。随着环保政策的日趋严格,煤泥热力干燥系统被关停,导致选煤厂煤泥产品因水分过高(达32%)而产生滞销,严重制约了矿井的正常生产,因此解决煤泥降水问题成为选煤厂经济效益提升的关键。为此,尔林兔煤矿选煤厂于2023年分两期投资安装了12台GTY2000-800型超高压弹性压榨压滤机。

超高压弹性压榨压滤机投入运行后,取得了良好的应用效果,可完全取代原有的“隔膜压滤机压滤+热力烘干”煤泥脱水工艺,实现煤泥的深度脱水。主要表现为:

(1) 处理能力大。超高压弹性压榨压滤机入料时间平均为18 min,压榨脱水时间为5 min,压

滤周期为30 min, 单台设备处理能力达40 t/h, 较同规格普通压滤机处理能力提高10~20 t/h。

(2) 滤饼水分低。由改造前后生产数据对比(表1)可知, 超高压弹性压榨压滤机滤饼水分为19.76%, 较普通快开隔膜压滤机低12个百分点左

右, 比烘干煤泥低约2个百分点。

(3) 经济效益良好。采用超高压弹性压榨压滤机后, 煤泥产品发热量增加, 吨煤泥售价提高约40元, 按年处理煤泥110万t计算, 年销售收入可增加4400余万元, 经济效益非常可观。

表1 改造前后煤泥产品工业分析数据对比

Table 1 Comparison of industrial analysis data of coal slime products before and after transformation

煤样名称	$M_t$	$A_d$	$V_{ad}$	$FC_{ad}$	$S_{t, ad}$	$Q_{net, ar}$ (MJ · kg <sup>-1</sup> )
普通隔膜压滤机煤泥	32.37	17.81	27.68	49.30	0.49	14.14
烘干煤泥	21.46	29.30	22.48	43.03	0.77	15.80
超高压弹性压榨压滤机煤泥	19.76	24.14	22.38	47.43	0.75	15.95

## 4 结论与展望

(1) 提高压榨压力有助于降低煤泥滤饼水分。随着压榨压力的提高, 滤饼水分快速下降, 当压榨压力升至10 MPa后滤饼水分下降趋于平缓。综合考虑, 10 MPa为较为合理的压榨压力。

(2) 研究开发的超高压弹性压榨压滤机采用“多油缸压紧+内嵌式滤布安装+超高压弹性压榨”一体化技术, 简化了传统压滤机压榨工艺, 解决了传统滤布受挤压后密封不严造成的难以稳定高压作业的问题, 滤饼压榨压力可达到10 MPa, 滤饼厚度可达70 mm。

(3) 尔林兔煤矿选煤厂生产实践表明, 超高压弹性压榨压滤机可完全取代“隔膜压滤机+热力烘干”煤泥脱水工艺实现煤泥深度脱水, 滤饼水分可降至19.76%, 比普通快开隔膜压滤机为煤泥降低12个百分点左右, 比烘干煤泥低约2个百分点, 使煤泥产品发热量增加, 企业经济效益提高。

(4) 随着超高压脱水技术的成熟及推广应用, 超高压脱水设备在选煤行业煤泥脱水中的占比将持续提高。关于超高压脱水技术, 今后需要做的主要工作有: 一是进一步提高高压滤效率; 二是要避免对细粒物料的过度降水; 三是要在满足市场需求的前提下探索最经济高效的压滤参数。

### 参考文献:

- [1] 赵跃民, 张亚东, 周恩会, 等. 清洁高效干法选煤研究进展与展望[J]. 中国矿业大学学报, 2022, 51(3): 607-616.
- ZHAO Yuemin, ZHANG Yadong, ZHOU Enhui, et al. Research progress and prospects of clean and efficient dry coal preparation[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2022, 51(3): 607-616.
- [2] 马晓敏. 《“十四五”现代能源体系规划》印发[N]. 中国矿业报, 2022-03-24(001).

MA Xiaomin. The 14th Five Year Plan for Modern Energy System has been issued [N]. China Mining News, 2022-03-24(001).

- [3] 王海娟, 程敢. 常见煤泥脱水技术研究进展[J]. 选煤技术, 2020(5): 1-7.
- WANG Haijuan, CHENG Gan. Research progress of commonly-used coal slime dewatering technologies [J]. Coal Preparation Technology, 2020(5): 1-7.
- [4] 吕向前, 刘炯天. 浮选精煤中水的存在形式与脱除[J]. 煤炭技术, 2005(1): 47-49.
- LYU Xiangqian, LIU Jiongtian. The forms and removal of water in flotation clean coal [J]. Coal Technology, 2005(1): 47-49.
- [5] 卫中宽, 李海龙. 我国煤用压滤机的生产和使用现状[J]. 煤炭加工与综合利用, 2007(1): 12-14.
- WEI Zhongkuan, LI Hailong. The production and use status of coal filter press in China [J]. Coal Processing & Comprehensive Utilization, 2007(1): 12-14.
- [6] 许光前, 耿大, 王焕忠, 等. 高压压榨和风穿流压滤脱水技术试验研究与应用[J]. 中国煤炭, 2024, 50(6): 118-127.
- XU Guangqian, GENG Dajiang, WANG Huanzhong, et al. Experimental research and application of high-pressure pressing and air flow filtration dewatering technology [J]. China Coal, 2024, 50(6): 118-127.
- [7] 姚雷, 高博, 李周锋, 等. 细煤泥脱水技术研究进展[J]. 陕西煤炭, 2023, 42(5): 78-81.
- YAO Lei, GAO Bo, LI Zhoufeng etc. Research progress on fine coal slurry dewatering technology [J]. Shaanxi Coal, 2023, 42(5): 78-81.
- [8] 谢广元, 欧泽深, 张洪安. 新型快速精煤压滤机与脱水工艺的研究[J]. 中国矿业大学学报, 2001(4): 55-58.
- XIE Guangyuan, OU Zeshen, ZHANG Hong'an. Research on the New Rapid Clean Coal Filter Press and Dehydration Process [J]. Journal of China University of Mining &

- Technology, 2001(4): 55-58.
- [9] 谢广元, 马喜君, 欧泽深, 等. 新型精煤压滤机与脱水工艺的研究 [J]. 选煤技术, 1999(6): 4-6.  
XIE Guangyuan, MA Xijun, OU Zeshen, et al. Research on New Clean Coal Filter Press and Dehydration Process [J]. Coal Preparation Technology, 1999(6): 4-6.
- [10] 胡刚, 刘帅, 侯增芳, 等. 协庄选煤厂浮选精煤降水及掺配的研究与应用 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2020(11): 34-35, 38.  
HU Gang, LIU Shuai, HOU Zengfang, et al. Research and application of flotation clean coal precipitation and blending in Xiezhuang Coal Preparation Plant [J]. Coal Processing & Comprehensive Utilization, 2020(11): 34-35, 38.
- [11] 黄健华. 穿流式压滤机对选煤厂极细煤泥脱水的可行性研究 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2021(2): 36-39.  
HUANG Jianhua. Feasibility study on dehydration of ultra fine coal slime in coal preparation plant by through flow filter press [J]. Coal Processing & Comprehensive Utilization, 2021(2): 36-39.
- [12] 万刘鹏. 穿流式压滤机在选煤厂煤泥回收系统中的应用 [J]. 机械管理开发, 2020, 35(9): 179-181.  
WAN Liupeng. Application of cross flow filter press in coal slurry recovery system of coal preparation plant [J]. Mechanical Management and Development, 2020, 35(9): 179-181.
- [13] 湛托. 淮北矿业浮选精煤压滤脱水工艺的改进 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2019(5): 15-18.  
SHEN Tuo. Improvement of flotation clean coal pressure filtration dewatering process in Huaibei Mining [J]. Coal Processing & Comprehensive Utilization, 2019(5): 15-18.
- [14] 郝娜. 选煤厂压滤机智能控制系统的研究 [J]. 自动化应用, 2023, 64(20): 78-80.  
HAO Na. Research on intelligent control system of filter press in coal preparation plant [J]. Automation Application, 2023, 64(20): 78-80.
- [15] 孙希奎, 范建国, 王学民, 等. 山东能源集团选煤厂智能化建设探索与实践 [J]. 智能矿山, 2022, 3(6): 28-32.  
SUN Xikui, FAN Jianguo, WANG Xuemin, et al. Exploration and practice of intelligent construction in Shandong Energy Group Coal Preparation Plant [J]. Journal of Intelligent Mine, 2022, 3(6): 28-32.
- [16] 涂亚楠, 王辉锋, 徐志强, 等. 压滤机脱水效果的理论分析与实践研究 [J]. 煤炭工程, 2013(5): 114-117.  
TU Yanan, WANG Huifeng, XU Zhiqiang, et al. Theoretical analysis and practical research on dewatering effect of filter press [J]. Coal Engineering, 2013(5): 114-117.
- [17] LV H, Chen W, Kang X, et al. Study on filtration equations based on filtrate viscosity [J]. International Journal of Coal Preparation and Utilization, 2022, 44(8): 1155-1172.