



移动扫码阅读

高杰,王健. 矿井水净化后的煤泥水减量化研究与应用[J].能源环境保护,2021,35(5):68-74.

GAO Jie, WANG Jian. Study and application of coal slime water reduction after mine water purification[J]. Energy Environmental Protection, 2021, 35(5): 68-74.

矿井水净化后的煤泥水减量化研究与应用

高杰¹, 王健²(1.中煤科工集团杭州研究院有限公司,浙江 杭州 311201;2.淄矿集团陕西正通煤业
有限责任公司,陕西 咸阳 713600)

摘要:为实现煤泥水减量化,分析了初沉池、调节池和澄清池的煤泥粒径,研究了微滤目数、C-PAM添加量和压滤时间对煤泥脱水的影响。结果表明:初沉池、调节池和澄清池中颗粒物的平均粒径分别为145.1 μm 、103.2 μm 和91.9 μm ,初沉池和调节池中存在大于830 μm 的颗粒物,最大粒径超过1 200 μm ;三池中,粒径小于45 μm 的颗粒物超过20%;20目微滤可有效去除830 μm 以上的颗粒物,投加15 mg/L C-PAM进行絮凝可有效去除45 μm 以下的颗粒物,二者共同作用可提升泥饼含固率。在进水悬浮物不超过3 000 mg/L的条件下,煤泥水进入隔膜压滤机压滤的时间不应低于40 min;当进水悬浮物超过5 000 mg/L时,压滤时间不应低于30 min。煤泥水经微滤+机械浓缩+隔膜压滤工艺处理后,泥饼含固率大于70%,煤泥水减排量超过90%。

关键词:煤泥水;减量化;颗粒物;压滤;含固率

中图分类号:X703

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2021)05-0068-07

Study and application of coal slime water reduction after mine water purification

GAO Jie¹, WANG Jian²(1.Hangzhou Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group, Hangzhou 311201, China;
2.Shaanxi Zhengtong Coal Co., Ltd., Zikuang Mining Group, Xianyang 713600, China)

Abstract: In order to reduce the amount of slime water, the particle size of slime in the primary settling tank, regulating tank and clarifier were analyzed, and the effects of microfiltration mesh, C-PAM addition and pressure filtration time on coal slime water dehydration were studied. The results showed that the average particle sizes of slime in the primary settling tank, regulating tank and clarifier were 145.1 μm , 103.2 μm and 91.9 μm , respectively. There were particles larger than 830 μm in the primary sedimentation tank and regulating tank. The maximum particle size was larger than 1 200 μm . More than 20% of the particles in the three tanks had a particle size less than 45 μm . The 20 mesh microfiltration and 15 mg/L C-PAM could effectively remove the particulate greater than 830 μm and less than 45 μm , respectively. The two methods together could improve the solid content of mud cake. When the influent suspended solids were less than 3 000 mg/L, the pressure filtration time of slime water in the high-efficiency rapid diaphragm filter press should be more than 40 min. When the influent suspended solids exceeded 5 000 mg/L, the pressure filtration time should be more than 30 min. After treated by the process of microfiltration + mechanical concentration + diaphragm pressure filtration, the solid content of slime cake was more than 70%, and the emission reduction of slime water reached more than 90%.

Key Words: Slime water; Reduction; Particle; Filter pressing; Solid content

0 引 言

矿井水是煤炭工业在地下开采过程中产生的一种特殊行业废水,其水中的固体污染物以煤粉、岩粉为主,并伴有少量石油类物质,不经过处理无法直接利用^[1-2]。国内目前的矿井水净化处理工艺基本都以给水处理理论为主,基于物料平衡原理,在以去除悬浮物为目的的矿井水净化处理系统中,若想获得良好的净化效果,系统必须实时排放相应固体总量的煤泥水,否则整个矿井水净化处理系统会失去平衡,影响系统的正常运转。由于矿井水的水质特征,矿井水净化处理产生的煤泥水量往往很大,矿井水中的悬浮物含量越高,其产生的煤泥水量就越大,这在当前水处理系统实施闭路循环及以人为本的发展理念下,就对煤泥水处理系统提出了快速、高效和减量化的技术要求。脱水处理作为常规的煤泥水处理方法,可以将煤泥水变为煤泥。由于煤泥本身就具有一定的发热量,越高含固率和煤含量的煤泥泥饼,其资源化回收利用价值也就越高。在此背景下,将矿井水净化处理过程中的煤泥减量化具有十分重要的现实意义,也是今后矿井水净化处理领域中煤泥水处理技术的发展趋势。

目前,煤泥减量化的关键就是对煤泥水进行脱水,其核心是通过压滤的形式进行压滤脱水,基本原理是将滤板作为过滤介质的支撑,利用滤布两侧的压力差作为驱动力,使得液体被动过滤,而固体物质被截留的过程。根据压滤的方式不同可以分为低压脱水和高压脱水,低压脱水包括离心压滤机和带式压滤机,高压脱水包括板框压滤机和隔膜式压滤机^[3-4]。

离心压滤机主要通过离心力作用将泥浆甩至转鼓壁上进行脱水。该压滤机工作中噪声较大,并且能耗较高,最终泥饼的含水率在 75% 以上^[5-6],处理的质量并不理想,实际工程中应用相对其它压滤机较少。

带式压滤机主要是通过滤布带对污泥挤压实现污泥的脱水。该压滤机整体受煤泥水处理量的影响较小,操作简单,处理的速度较快,但最终煤泥含水率高达 80%~85%^[7-8],处理效果一般。

板框式压滤机的主要原理是通过滤板的挤压将水排出,并通过滤布过滤污泥以实现脱水。该压滤机的处理效果较好,滤饼的含水率较低,一般在 65% 以下,因此广泛被污水处理厂采用,但是板

框式压滤机产能有限,并且自动化程度较低,需专人定时看管^[9-10]。

隔膜式压滤机的主要原理是利用隔膜滤板、滤板和滤布组成可变滤室对流体进行压榨脱水,进而获取滤饼,压榨时间一般在 10~15 min,滤饼的含水率一般小于 55%,最高可降至 30% 以下^[11-12]。此外该压滤机具有耐化学腐蚀性能、维修方便、生产安全等优点,被广泛应用于化工固液分离的各个领域。

本研究基于隔膜压滤机的优势,对陕西某矿矿井水的煤泥水开展减量化、资源化研究与工程应用,以期同类工程提供参考。

1 工程化应用问题

陕西某煤矿矿井水净化处理厂设计矿井水处理规模为 4 000 m³/h,主体工艺采用的是给水处理理论中的澄清和过滤技术。受井下水仓容积、开采方式及地质构造特征等因素影响,该矿目前矿井水中的悬浮物含量较高,一般在 3 000 mg/L 左右,高峰时的悬浮物甚至达到了 15 000 mg/L,如此高浓度悬浮物的矿井水每天在净化处理过程中产生了大量的煤泥水。最初,由于该矿选煤厂未正式达产,余量大,为节省投资,这些煤泥水送至选煤厂进行合并处理,但随着选煤厂运行负荷日渐提高,以及大量低含固率煤泥水带来的水质冲击,目前选煤厂的煤泥水处理系统已经不堪重负,在此背景下,必须对煤泥水进行单独处理,保障矿井水净化处理的出水水质环保要求和系统稳定性。

2 工程规模及方法

2.1 工程规模

矿井水净化处理产生的煤泥水主要来自初沉池、调节池和澄清池,并最终汇入储泥池储存。以矿井水净化处理中涉及到的排泥构筑物的实际运行参数为基础,根据矿井水进水规模、净水剂投加量(PAC 和 PAM 分别按 50 mg/L、1.0 mg/L 计)、设计进出水水质等进行物料平衡分析,最终确定了煤泥水处理规模为 9 760 m³/d,含固率约 2.94%。物料平衡分析及计算如图 1 所示。

2.2 工程方法

针对矿井水净化处理煤泥水体量大、粒度分布不均匀的水质特点,并基于煤泥水减量化的使用要求,煤泥水处理系统采用微滤+机械浓缩+快

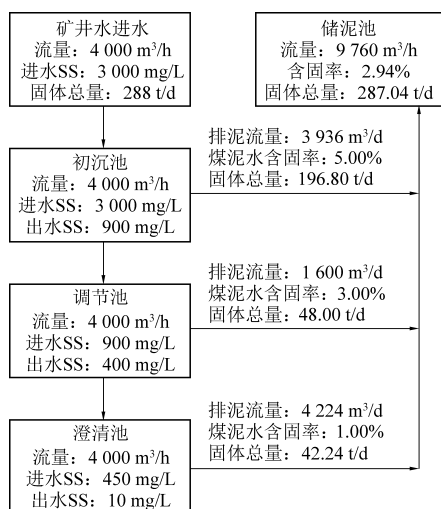


图1 物料平衡分析及计算

Fig.1 Mass balance analysis and calculation

速隔膜压滤的组合工艺。煤泥水处理工艺流程如图2所示。

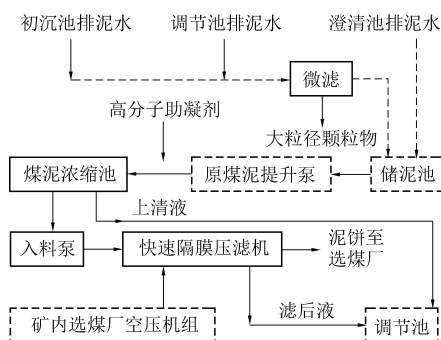


图2 煤泥水处理工艺流程

Fig.2 Slime water treatment process

来自矿井水净化处理系统中初沉池和调节池的煤泥水,首先经微滤去除大粒径颗粒物后,与来自澄清池絮凝沉淀的煤泥水一同进入储泥池,利用澄清池煤泥水的絮凝特性进行初步絮凝反应,之后煤泥水通过原煤泥提升泵提升,提升期间煤泥水与高分子助凝剂充分混合,并进入煤泥浓缩池内进行二次絮凝反应。煤泥浓缩池的上清液溢流至矿井水净化处理系统中的调节池,底流经入料泵提升至快速隔膜压滤机进行固液分离,并通过矿内选煤厂空压机组引进的压缩空气进行二次压榨和吹脱,进一步降低煤泥泥饼的含水率和压榨周期。压滤后的滤出液自流返回调节池,煤泥泥饼在达到了选煤厂进料含固率不低于70%的使用要求后,不落地直接装车运走。

以上工艺过程中,煤泥水脱水处理系统主要由大颗粒去除单元、高分子助凝剂投加单元、浓缩单元以及压滤单元组成。

2.2.1 大颗粒去除单元

大颗粒去除单元的设立一方面是基于大颗粒物质的存在不利于最终泥饼的成形,另一方面是基于隔膜压滤机的进料粒度不超过1 200 μm的要求。大颗粒去除单元主要采用的是微滤去除技术,具体针对矿井水处理系统中来自初沉池和调节池的大粒径颗粒物,多为大粒径的煤粉。去除的大粒径煤粉直接送至选煤厂回用。

微滤机安装在储泥池池顶,设计数量1台,处理流量250 m³/h,滚筒直径1 m,功率2.2 kW。

2.2.2 高分子助凝剂投加单元

采用阳离子高分子助凝剂聚丙烯酰胺(C-PAM)进行煤泥水的化学调理,C-PAM与原煤泥提升泵PLC联动控制,实现不同流量下的C-PAM自动投加。为增加煤泥水的浓缩效果,C-PAM投加点设置在机械浓缩入口管路上,通过混合装置进行混合反应后,在机械浓缩池内有充分的絮凝反应时间。

C-PAM投加单元由自动泡药机和投加计量泵组成。自动泡药机设置在矿井水净化处理站加药间内,共2台,水平式三槽一体(混合槽、调匀槽、储存槽)连续式配制,单台最大制备能力3 000 L/h,配置浓度在1‰~2‰;投加计量泵采用米顿罗GB系列机械隔膜计量泵,共3台,单台参数:Q=1 800 L/h,H=3 bar,N=0.75 kW。

C-PAM混合装置采用静态管式混合器,玻璃钢材质,为防止C-PAM因快速混合而使分子链降解,影响絮凝性能,管式混合器设计采用了两片式结构。

2.2.3 浓缩单元

煤泥水浓缩是煤泥水减量化处理的第一道工序,可有效提高煤泥水的底流浓度,减小后续煤泥水压滤单元的运行负荷。浓缩单元由煤泥浓缩池、池底与入料泵房连接的检修巷道组成。

煤泥浓缩池设计两座,钢筋混凝土结构,浓缩形式为辐流式,单池直径18.0 m,池周边深3.2 m,池底放坡8.5°,煤泥固通量16.1 kg/(m²·d),液面负荷0.8 m³/(m²·h),水力停留时间3.8 h。池内设两台选煤用的中心传动提耙式浓缩机,单台浓缩机功率5.5 kW,扭矩大,能够有效防止池底积泥板结和后续管路、水泵的堵塞。

浓缩池池底检修巷道,其断面尺寸2.0 m(B)×2.2 m(H),进出口设在煤泥压滤机房地下入料泵房内。

2.2.4 压滤单元

压滤单元是煤泥水处理系统的最后一道工序和关键处理单元,主要由压滤机、入料泵、二次气榨系统以及配套建设的入料泵房、煤泥压滤机房等组成。其中二次气榨系统利用选煤厂现有设备。

(1)压滤机

压滤机是实现煤泥水脱水和减量化的核心设备,设计采用了在选煤行业应用较多,效果较好的KZG550/2000-U型高效快速隔膜压滤机。

KZG550/2000-U型高效快速隔膜压滤机是在传统厢式压滤机的基础上开发出的一种间歇性操作的双向进料设备,如图3所示。高效快速隔膜压滤机主要由机架、自动拉板系统、隔膜滤板、液压泵站、电气控制部分以及配套的气动阀组和管配件等组成。

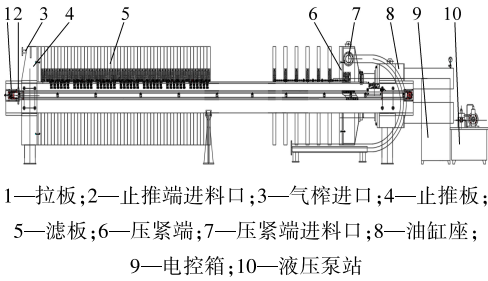


图3 KZG550/2000-U型高效快速隔膜压滤机结构示意图
Fig.3 Structural diagram of KZG550/2000-U high efficiency and fast diaphragm filter press

高效快速隔膜压滤机的工作过程包括以下几个阶段:压紧板进、锁定缸出、滤板压紧、料泵启动、料泵停止、滤板松开、锁定缸回、压紧板退、尾部拉板和中部拉板。其工作原理为:由液压站提供动力,将所有滤板沿主梁移动、合拢压紧在活动头板和固定尾板之间,使相邻滤板间形成封闭滤室;然后启动入料泵,将煤泥水加压,使其从两个入料口(止推端和压紧端)进入滤室;在所有滤室充满煤泥水后开始压滤。煤泥水通过入料泵的压力进行固液分离,煤泥在滤室内形成滤饼,滤液则透过滤布从滤板的水嘴排出;初步形成滤饼后,再向隔模板内通入高压空气吹动隔膜,使滤饼进行二次脱水;最后隔膜滤板通过数次拉板快速卸料,完成一个压滤循环。

KZG550/2000-U型高效快速隔膜压滤机设计共3台,单台设备的主要技术参数如表1所示,该压滤机的进水悬浮物颗粒需大于800 μm。

表1 隔膜压滤机主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of diaphragm filter press

名称	参数
滤板规格	2 000 mm×2 000 mm
配板材质	聚丙烯
隔模板材质	进口弹性 PTE
过滤面积	550 m ²
滤室数量	78 个
滤饼厚度	45 mm
滤室容积	12.26 m ³
过滤压力	0.6~0.7 MPa
压榨压力	0.8~1.0 MPa
压榨介质	空气
最大运行功率	22 kW

高效快速隔膜压滤机安装在煤泥脱水车间二层,压滤后的泥饼不落地直接运至选煤厂。煤泥脱水车间为二层框架结构,设计尺寸为16.24 m(L)×15.24 m(B)×12.00 m(H)。

(2)入料泵

入料泵为高效快速隔膜压滤机提供原始压榨动力,基于煤泥水水质特点及高效快速隔膜压滤机的工作原理,入料泵选用了压滤专用渣浆泵,该泵具有耐磨耐腐蚀、轴封泄露率低的机械特点,其工作曲线与压滤机运行工况能够很好的匹配,无需进行变频控制。入料泵设计6台,3用3备,单台参数为Q=70~280 m³/h,H=30~80 m,N=90 kW。

入料泵安装在煤泥脱水车间的地下入料泵房内,钢筋混凝土结构,平面尺寸为15.76 m×15.76 m,深4.2 m。

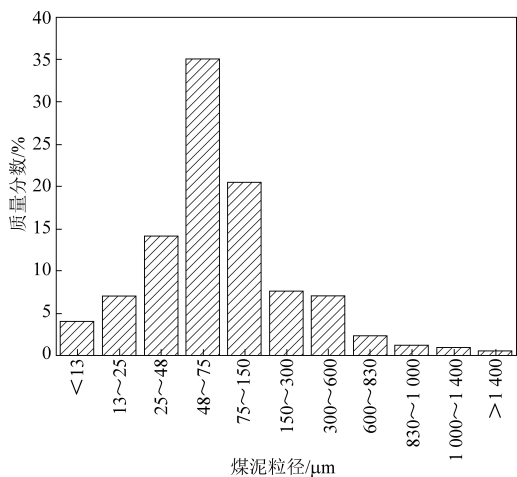
3 应用效果分析与讨论

3.1 悬浮物粒径分析及影响

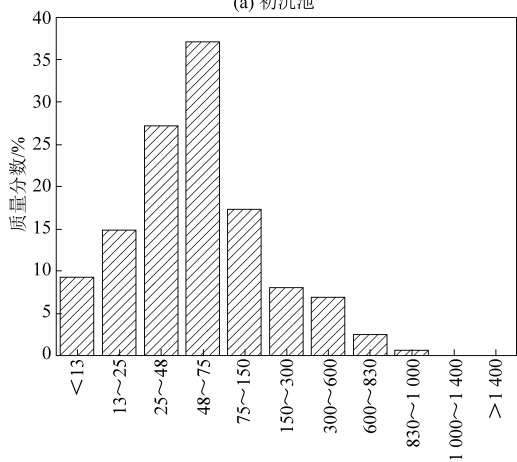
煤泥水中的主要成分煤泥来自于矿井水中的悬浮物,主要包括煤粉和岩粉。有研究表明颗粒物的粒径对最终煤泥饼的含水率会产生较大的影响,粒度越细脱水难度越大^[13],因此对煤泥水中悬浮物的粒径进行分析很有必要。

采用不同目数的筛网对该矿井水处理中初沉池、调节池和澄清池的沉积煤泥逐级筛分以进行粒度分析,结果如图4所示。从图中可以看出,该煤矿矿井水处理初沉池煤泥的粒径60%以上都在25~150 μm之间,平均粒径为145.1 μm,最大粒径在1 400 μm以上;调节池煤泥的粒径同样有60%以上

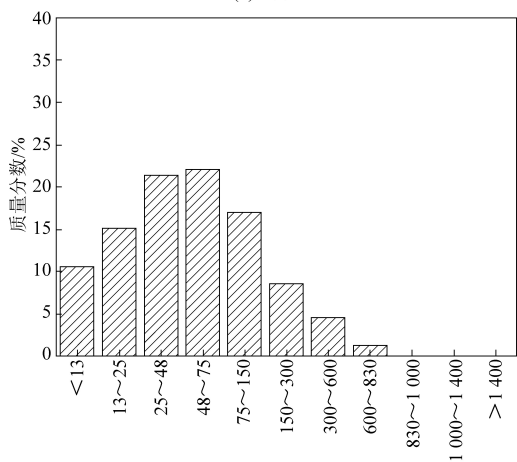
都在 $25 \sim 150 \mu\text{m}$ 范围之内,平均粒径要较初沉池小,为 $103.2 \mu\text{m}$,最大粒径在 $830 \sim 1\,000 \mu\text{m}$ 之间;澄清池煤泥的粒径分布较为平缓,平均粒径为 $91.9 \mu\text{m}$,并且小范围的粒径质量占比明显增加。



(a) 初沉池



(b) 调节池



(c) 澄清池

图4 矿井水处理初沉池、调节池和澄清池煤泥粒径
Fig.4 Particle sizes of coal slime in the primary sedimentation tank, regulating tank and clarifier for mine water treatment

粒径分析结果表明,在初沉池和调剂池中沉淀的煤泥粒径要比后续澄清池中加药沉淀的煤泥粒径大,并且存在粒径大于 $830 \mu\text{m}$ 的大直径颗粒物。一旦压滤机进料液中存在粒径较大 ($>900 \mu\text{m}$) 的颗粒物,小颗粒便容易透过滤饼,最终导致滤饼含固率下降,滤液的浊度偏高^[14]。此外三个池煤泥水中小于 $45 \mu\text{m}$ 的煤泥均占据 20% 以上,有研究表明此类煤泥由于粒径过小,压滤效果较差,形成的滤饼将不利于内部水分的渗透,压滤时间过长,产能将会降低^[15]。

3.2 微滤目数的影响

采用微滤处理初沉池和调节池的煤泥水(悬浮物含量在 $3\,000 \text{ mg/L}$ 左右),微滤滤网的目数为 16、18、20、24、28 目,C-PAM 投加量为 15 mg/L ,压滤时间为 40 min ,研究滤网目数对大颗粒的去除效果及压滤滤饼含固率的影响,以及滤网目数与能耗的关系,如图 5 所示。

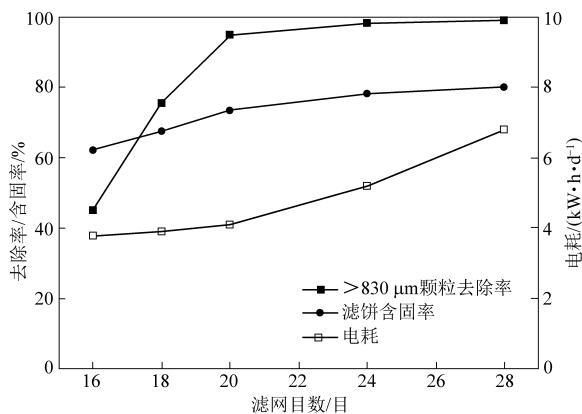


图5 大颗粒去除效果及滤饼含固率

Fig.5 Removal effect of large particles and solid content of filter cake

从图中可以看出,随着微滤滤网目数的增大,滤除液中大于 $830 \mu\text{m}$ 的颗粒不断变少,并且最终滤饼的含固率不断上升。当滤网目数为 20 目时,大于 $830 \mu\text{m}$ 颗粒去除率达到 95% 以上,并且滤饼的含固率也达到 73.5%。此外,随着微滤目数自 16 目增加至 20 目,微滤过程的电耗呈现缓慢增加,当目数超过 20 目时,电耗的增加趋势迅速增大。因此基于煤泥水的处理要求以及能耗的考量,微滤段选择滤网目数为 20 目。

3.3 高分子有机絮凝剂投加量的影响

研究表明通过添加高分子絮凝剂可以使得微细颗粒形成较粗的颗粒,能提高滤饼的松散度与水的透过性能,增加脱水的效率^[16]。

根据矿井水净化处理排放煤泥水的组成成分

及水质特性,高分子助凝剂采用了 C-PAM,其分子量 1 000 万,离子度为 30%,外观为白色颗粒状。储泥池出水中添加 C-PAM,压滤时间为 40 min,研究 C-PAM 添加量对 $<45\ \mu\text{m}$ 颗粒的去除及最终泥饼含固率的影响,如图 6 所示。

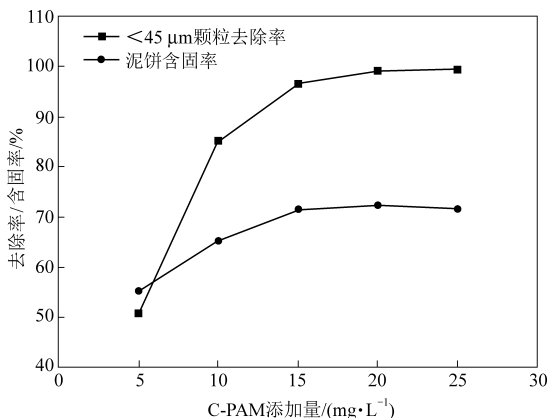


图 6 小颗粒去除效果及滤饼含固率

Fig.6 Removal effect of small particles and solid content of filter cake

从图中可以看出,随着 C-PAM 添加量的增大,煤泥水中 $<45\ \mu\text{m}$ 的颗粒物逐渐絮凝消失,泥饼的含固率不断增加。当 C-PAM 的添加量为 15 mg/L 时, $<45\ \mu\text{m}$ 颗粒物的去除率达到 96.6%,泥饼的含固率达到 71.3%。因此 C-PAM 的最佳添加量为 15 mg/L,换算后投加量按煤泥绝干量的 0.5‰ 计,即 C-PAM 干粉投加量为 5.98 kg/h。

3.4 压滤时间的影响

初沉池和调节池的煤泥水经 20 目微滤处理进入储泥池,储泥池出水中添加 C-PAM 15 mg/L,之后进行不同时间的压滤,研究压滤时间对泥饼含固率的影响,如图 7 所示。

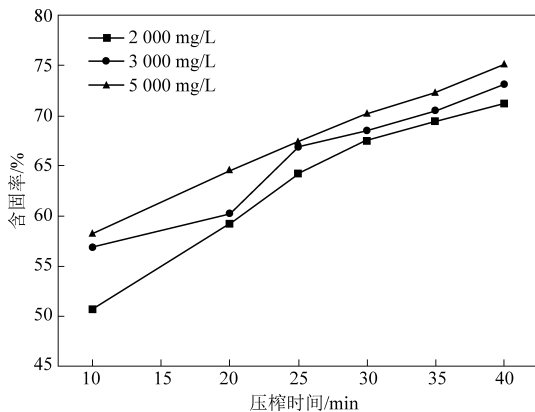


图 7 调试期间压滤时间对泥饼含固率的影响

Fig.7 Effect of pressing time on solid content of mud cake during commissioning

从图中可以看出,随着压滤时间的增加,泥饼

的含固率呈现上升趋势;对于矿井水悬浮物为 2 000、3 000 和 5 000 mg/L 的原水,对应煤泥水分别在压榨时间为 30、35 和 40 min 时达到含固率 70% 以上。因此,基于选煤厂对泥饼含固率的高要求(不低于 70%),最终确定了以下两种运行方案:①在矿井水进水悬浮物不超过 3 000 mg/L 时,煤泥水压榨时间不低于 40 min;②当矿井水进水悬浮物超过 5 000 mg/L 时,煤泥水压榨时间不低于 30 min。

3.5 运行过程及效果

高效快速隔膜压滤机的压滤液除最开始的几秒出水发黑外,随后的压滤液出水浊度经检测均小于 10 NTU。

项目于 2019 年 5 月上旬正式投产运行,连续 8 个月的具体运行数据如图 8 所示。运行效果表明,项目工程能持续稳定的每天为选煤厂提供含固率不低于 70% 的泥饼,以煤泥水含固率设计值计算,整体工艺煤泥减排率达到 90% 以上。5 月上旬产泥量为 400 吨左右,在 5 月下旬,受矿井水来水水质恶化影响,煤泥水处理系统曾连续三天出泥超过 800 吨,之后随着水质的波动产泥量均有不同程度的波动。煤泥水所生产的煤泥饼同样可以提供热值,预计每天可以带来 9 万元左右的经济效益,进而减少整体工艺的运行成本。

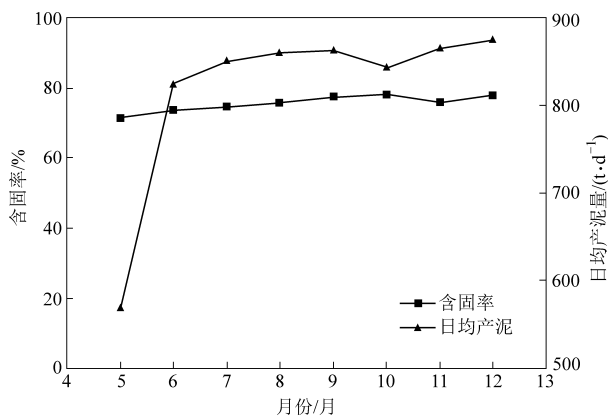


图 8 2019 年投产后工艺运行效果

Fig.8 Process operation effect after putting into operation in 2019

3.6 与其它泥水处理的比较

本文工艺投产使用后达到了煤泥水减量化的目的,并且产生的煤泥饼可以回收利用,本工艺技术与其它同类型的泥水处理对比如表 2 所示。从表中数据可知本文所采用的工艺无论是最终泥饼

的含固率还是泥减排率均要高于其它类型的工 了借鉴。
艺,可见本工艺的优势,可以为同类工程问题提供

表 2 本工艺与其它泥水处理工艺比较

Table 2 Comparison between this process and other slime water treatment processes

处理泥来源	主要脱水装置	工艺泥饼含固率/%	工艺泥减排率/%
云南省昆明市某水质净化厂改建工程 ^[17]	高压带式连续污泥深度脱水机	40	45.5
江苏无锡某工业园区印染污泥 ^[18]	板框压滤机	>40	67.5
安徽省某市政污水处理厂 ^[19]	高压带式连续深度脱水机	45	30
湖北十堰某污水处理厂 ^[20]	高压隔膜式板框压滤机	>40	77.6
陕西某煤矿矿井水净化处理厂(本文)	高效快速隔膜压滤机	>70	90

4 结 语

本文以陕西某煤矿煤泥水为研究对象,对其减量进行了研究,并应用于实际工程,主要有以下结论。

(1)原矿井水处理系统中初沉池、调节池和澄清池的颗粒物平均粒径分别为 145.1 μm、103.2 μm 和 91.9 μm,初沉池和调节池中有>830 μm 的颗粒物存在,最大在 1 200 μm 以上,三池中超过 20%的颗粒物粒径小于 45 μm。

(2)20 目的微滤可有效去除>830 μm 大粒径的颗粒物,并送至选煤厂回用;通过 C-PAM 絮凝可以有效减少 45 μm 以下的颗粒物。两者共同作用可以提升最终泥饼的含固率。

(3)进水悬浮物不超过 3 000 mg/L 时,煤泥水进入高效快速隔膜压滤机压滤时间需不低于 40 min;进水悬浮物超过 5 000 mg/L 时,压滤时间需不低于 30 min。

(4)8 个月的工程运行中,该工艺能持续稳定的每天为选煤厂提供含固率不低于 70%的泥饼,煤泥水减排量达到 90%以上,每天的出泥量超过 800 吨。

(5)该实际工程是目前国内矿井水处理领域最大的煤泥水处理系统,具有自动化程度高,煤泥减量突出,药剂成本低,卫生环境好的特点。

参考文献

[1] 高亮. 我国煤矿矿井水处理技术现状及其发展趋势 [J]. 煤炭科学技术, 2007, 35 (9): 1-5.
[2] 何绪文, 钱大益, 谭远斌, 等. 高浊度矿井水水质特性 [J]. 北京科技大学学报, 2008, 30 (8): 844-847.
[3] 王雪伟, 张文军, 胡格伟, 等. 煤泥离心过滤和机械压滤的滤饼层粒度分布及其影响 [J]. 煤炭学报, 2014, 39 (10): 2087-2091.
[4] Mahmoud A, Olivier J, Vaxelaire J, et al. Electrical field: A

historical review of its application and contributions in wastewater sludge dewatering [J]. Water Research, 2010, 44 (8): 2381-2407.

[5] 赵剑锋, 王增长, 张弛. 低成本的污泥燃料合成方法 [J]. 环境保护科学, 2012, 38 (3): 50-53.
[6] 许春莲, 蒋进元, 靳顺龙, 等. 污泥机械脱水技术发展现状及前景 [J]. 环境工程, 2016, 34 (11): 90-93.
[7] 张文清. 带式压滤机偏带限位保护装置的技术改进 [J]. 给水排水, 2010, 46 (10): 104-105.
[8] 李永庆, 牛俊英, 王雪伟. 新型带式压滤机在路天选煤厂的应用 [J]. 煤炭工程, 2015, 47 (4): 80-82.
[9] 张明德, 姚洁, 郭亦俊. 长桥水厂排泥水处理及板框压滤机系统 [J]. 给水排水, 2007, 33 (9): 23-26.
[10] 刘吉宝, 魏源送, 王亚炜, 等. 基于预处理的强化污泥脱水研究进展 [J]. 中国给水排水, 2014, 30 (14): 1-6.
[11] 郭望渊, 陈科庆. 隔膜压滤机在污泥深度脱水中的应用研究 [J]. 中国设备工程, 2019 (18): 175-176.
[12] 王希, 杜建强. 隔膜滤板膜片用改性聚丙烯的制备 [J]. 合成树脂及塑料, 2020, 37 (2): 1-4.
[13] 杨建国, 刘传印, 程晓峰, 等. 煤泥高效离心脱水机脱水效果的 试验研究 [J]. 矿山机械, 2011, 39 (7): 96-99.
[14] 张兆光, 陈泽. 国外某铀水冶厂厢式隔膜压滤机进料速度影响因素分析 [J]. 中国矿业, 2018, 27 (2): 204-209.
[15] 杨颀, 王辉锋, 徐志强. 含蒙脱石的煤泥压滤脱水效果影响因素研究 [J]. 煤炭工程, 2013, 45 (10): 102-105.
[16] 邓金迪, 沈丽娟, 杨泽坤, 等. 细粒煤脱水技术与设备现状及发展方向 [J]. 矿山机械, 2006, 34 (4): 77-80.
[17] 王娜娜, 王静, 路远, 等. 高压带式连续污泥深度脱水技术的应用实例 [J]. 工业水处理, 2021, 41 (5): 143-146.
[18] 张华, 杨雪峰, 谷朝阳, 等. 印染行业污泥资源化技术研究和工程示范 [J]. 环境工程, 2020, 38 (11): 152-156.
[19] 李建, 阮燕霞, 陈良才, 等. 粉煤灰改性-高压带式连续脱水设备用于污泥减量 [J]. 给水排水, 2019, 35 (14): 105-109.
[20] 林明, 庄毅璇, 李建, 等. 某污水处理厂污泥处理系统技术改造 [J]. 给水排水, 2018, 34 (20): 109-111.