

基于滤饼孔隙结构调控的煤泥水分段过滤研究

王东辉, 刘文礼, 徐宏祥

(中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院, 北京 100083)

摘要:为了解决煤泥水过滤速度慢、滤饼水分高和卸饼难的问题,基于滤饼孔隙结构的调控,提出了煤泥水分段过滤的工艺。利用煤泥水过滤装置和煤泥滤饼孔隙测量装置,研究了煤泥水分段过滤对滤饼水分、成饼时间、脱水速率和滤饼孔隙结构的影响。研究表明:与混合过滤相比,煤泥水分段过滤的滤饼水分低、成饼时间短和脱水速率大,且随着煤泥中 -0.074 mm 粒级含量的增加,煤泥水分段过滤对滤饼水分、成饼时间、脱水速率的影响先快速增加,达到最大后降低,影响最大的位置在 -0.074 mm 粒级含量 $20\%\sim 40\%$;煤泥水分段过滤减少了 -0.074 mm 粒级对大孔隙的填充,导致滤饼中孔径小于 $4\text{ }\mu\text{m}$ 的孔隙含量变化不大,孔径 $4\sim 50\text{ }\mu\text{m}$ 的孔隙含量显著减少,孔径大于 $50\text{ }\mu\text{m}$ 的孔隙含量明显增大,滤饼的孔隙率增大。

关键词:煤泥水;分段过滤;滤饼水分;脱水速率;孔隙结构

中图分类号:TD94

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2018)02-0119-07

Study on subsection filtration for coal slurry based on regulation of pore structure of filter cake

WANG Donghui, LIU Wenli, XU Hongxiang

(School of Chemical & Environmental Engineering, China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: In order to solve the problem of slow velocity of filtration, high moisture of filter cake and filter cake unloaded difficultly, the process of subsection filtration for coal slurry was proposed based on the regulation of pore structure of filter cake. Using coal slurry filtration device and pore measurement device for filter cake, the effect of subsection filtration for coal slurry on filter cake moisture, formation time for filter cake, dehydration rate and pore structure of filter cake were studied. The results show that compared with hybrid filtration for coal slurry, the moisture of filter cake is lower, the formation time is shorter, and the dehydration rate is larger. With the increase of -0.074 mm particles content, the effect of subsection filtration for coal slurry on filter cake moisture, formation time and dehydration rate increases rapidly, reaches the maximum and then decreases. When -0.074 mm particles content is between $20\%\sim 40\%$, the subsection filtration for coal slurry has the most remarkable effect. Essentially, the subsection filtration for coal slurry reduces the filling of -0.074 mm particles to large pores, with the result that the content of pores with size less than $4\text{ }\mu\text{m}$ is little change, the content of pores with size $4\sim 50\text{ }\mu\text{m}$ is significantly reduced, the content of pores with size larger than $50\text{ }\mu\text{m}$ is obviously increased, and the porosity of filter cake for coal slime is larger.

Key words: coal slurry; subsection filtration; filter cake moisture; dehydration rate; pore structure

0 引言

近年来,采煤和选煤的机械化程度提高,原生煤泥和次生煤泥的含量大幅增加,煤层顶底板中的高岭土、蒙脱石和伊利石等黏土矿物也进入原煤,导致

煤泥水中的颗粒呈现粒度细、灰分高和表面负电性强的特征^[1-3]。此外,煤泥水中还夹杂因分选工艺或煤泥水沉降需要而添加的捕收剂、起泡剂、絮凝剂等,使煤泥水的黏度增加^[4]。多种因素相互作用下,煤泥水过滤的滤饼水分偏高、过滤速度慢,严重

收稿日期:2017-12-10;责任编辑:代艳玲 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2018.02.015

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金资助项目(51604280)

作者简介:王东辉(1988—),男,河南开封人,博士研究生。E-mail:wdh_cumtb@163.com

引用格式:王东辉,刘文礼,徐宏祥.基于滤饼孔隙结构调控的煤泥水分段过滤研究[J].煤炭科学技术,2018,46(2):119-125.

WANG Donghui, LIU Wenli, XU Hongxiang. Study on subsection filtration for coal slurry based on regulation of pore structure of filter cake[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(2): 119-125.

影响煤炭产品的质量和过滤设备的处理能力,致使煤泥水的高效快速过滤脱水成为固液分离领域的一大难题。

朱桂华等^[5]通过模拟和试验研究了过滤压力对污泥滤饼水分的影响,结果表明过滤压力由 0.4 MPa 增加到 1.0 MPa,滤饼水分急剧降低;过滤压力大于 1.0 MPa 后,滤饼水分降低缓慢。文献[6-7]研究了煤泥水浓度对过滤效果的影响,发现煤泥水浓度越高,滤饼的水分越低,过滤设备的处理量越大。樊玉萍等^[8]结合 Zeta 点位、等电点和润湿热研究了粒度组成对煤泥水过滤效果的影响,结果表明与其他粒级煤泥相比,-0.045 mm 粒级煤泥的润湿热最大,形成的滤饼孔隙率最小,是恶化煤泥水过滤效果的重要组成部分。文献[9-12]研究了粒度组成对浮选精煤过滤的影响,认为增加浮选精煤中粗颗粒的含量可以显著降低滤饼的水分,大幅降低滤饼的比阻,缩短煤泥水过滤的时间,增加过滤设备的处理量。亓欣等^[13]研究了不同黏土矿物对煤泥水过滤的影响,结果表明:黏土矿物会增加煤泥水过滤的时间,降低滤饼的渗透性能,增大卸饼的难度;而且,蒙脱石对煤泥水过滤效果的影响远大于高岭土、伊利石和绿泥石。支献华等^[14]研究了煤质特性对煤泥水过滤效果的影响,发现随着煤变质程度的增加,煤泥水过滤的滤饼水分和成饼时间逐渐降低,在焦煤阶段达到最低,然后又缓慢地有所增加,与煤的亲水性规律基本一致。综合分析,增加过滤压力可以降低滤饼水分和提升过滤速度,但是会大幅增加设备的损耗;煤泥水过滤的入料部分来自浓缩池的底流,其浓度在 300~500 g/L,若浓缩池底流浓度过高,且不能及时处理,会导致耙式刮板的扭矩急剧增大,发生压耙事故;通过增加精煤粒度组成中粗粒级(0.5~0.074 mm)的含量^[9],可以减小滤饼的比阻、提升浮选精煤过滤的速度、降低浮选精煤滤饼的水分,但增加了浮选精煤的产量,造成选煤厂综合精煤(块精、末精和浮精)的水分并未降低。所以,上述措施的可行性差或未从根本上解决煤泥水过滤滤饼水分高、过滤速度慢的问题。

此前,笔者研究了煤泥粒度组成、过滤压力和滤室厚度对滤饼孔隙结构的影响^[15],发现煤泥滤饼孔隙结构是影响煤泥水过滤的滤饼水分、过滤时间和脱水速率的本质因素。基于上述研究,笔者提出了煤泥水分段过滤的工艺,旨在通过调控煤泥滤饼的孔隙结构,从根本上改善煤泥水过滤的效果,为选

煤厂煤泥水过滤工艺的改进提供理论支持和应用指导。

1 试验煤样、装置与方法

1.1 试验煤样

煤样选自乌海矿区典型焦煤,泥化程度低。煤样经破碎、筛分后,对-0.5 mm 粒级煤样 0.074 mm 分级。其中,0.074 mm 分级采用湿筛,湿筛煤样浸泡 24 h。干燥后,按比例配制 6 种级配煤样,具体配比见表 1。

表 1 级配煤样的粒度组成
Table 1 Size composition of graded coal samples

粒度/mm	质量分数/%					
	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号
0.5~0.074	100	80	60	40	20	0
-0.074	0	20	40	60	80	100

1.2 试验装置与方法

1.2.1 过滤装置与方法

煤泥水过滤装置^[16]如图 1 所示,透气率 400 mm/s 的滤布位于滤板上,滤板的过滤面积为 13.5 cm²,滤孔的直径为 0.5 cm,滤框和加压仓筒体内径均为 100 mm,用来调整滤饼厚度的滤框有 5、10、20、30 mm 四种,头板上的入料口与 2 条管路相连,一条为煤泥水入料管路,另一条为高压空气进气管路,入料口处的压力表可以显示入料或进气压力。通过调节入料管路和进气管路的阀门实现煤泥水气压过滤和液压过滤。

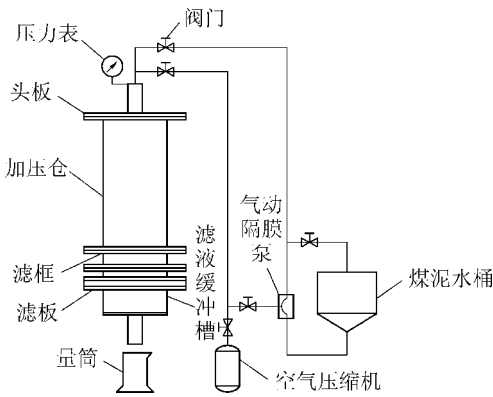


图 1 煤泥水过滤装置

Fig. 1 Coal slurry filtration device

煤泥水混合过滤方法的具体步骤为:取 6 种级配煤样各 400 g,分别配制成质量浓度为 400 g/L 的煤泥水,在过滤压力 0.6 MPa 下进行气压过滤;煤泥

水过滤结束后,采用高压空气穿透滤饼。

煤泥水分段过滤方法的具体步骤为:首先,将级配煤样 0.5~0.074 mm 粒级和 -0.074 mm 粒级分别配制成质量浓度 400 g/L 的煤泥水。然后,把 0.5~0.074 mm 粒级的煤泥水先给入过滤装置,在过滤压力 0.6 MPa 下进行一段过滤,一段过滤结束后通入高压空气穿透煤泥滤饼。一段过滤中的高压空气穿透煤泥滤饼结束后,将 -0.074 mm 粒级的煤泥水给入过滤装置,在一段过滤形成的滤饼上进行二段过滤,过滤压力为 0.6 MPa。煤泥水二段过滤结束后,再次通入高压空气穿透煤泥滤饼。

1.2.2 滤饼孔隙测量装置与方法

1) 滤饼固化装置与方法。由于煤泥滤饼结构易损坏和滤饼中煤颗粒与孔隙难区分,笔者提出利用煤泥滤饼固化装置^[17]对滤饼进行固化处理,避免测量过程中破坏滤饼结构,增加滤饼中煤颗粒与孔隙的区分度。滤饼固化装置由真空泵、分液漏斗、抽滤瓶、过滤器、取样器、铁架台和橡胶软管组成(图2)。过滤器外径与抽滤瓶瓶口内径相同,过滤器内径为 16 mm,过滤器高度为 30 mm,过滤器底部均匀分布圆孔。真空泵通过橡胶软管与抽滤瓶连接,分液漏斗中装有灌注液。

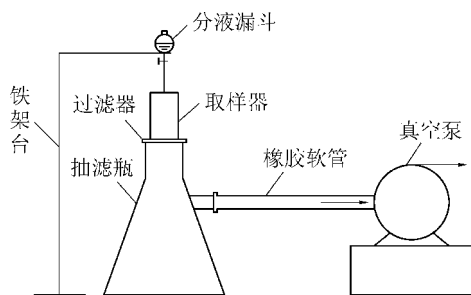


图2 滤饼固化装置

Fig. 2 Filter cake solidification device

煤泥滤饼固化方法的具体步骤:将取样器垂直滤饼表面,向下取样至整个滤饼厚度。将夹有滤饼的取样器与底部放有滤纸的过滤器相连,并竖直放入恒温干燥箱中,40~45℃干燥至恒重。干燥至恒重的取样器和过滤器与抽滤瓶连接,抽滤瓶与真空泵通过橡胶软管连接,将装有环氧树脂和固化剂的分液漏斗固定在铁架台上,移动抽滤瓶使取样器位于分液漏斗出液口的正下方,打开分液漏斗阀门,当取样器内滴入 2/3 灌注液时,打开真空泵,待环氧树脂和固化剂完全渗入滤饼时关闭真空泵。灌注结束后,将取样器放入干燥箱 40~45℃干燥 12 h,环氧树脂与固化剂反应固化后,即可得到固化的煤泥

滤饼。

2) 滤饼孔隙测量方法。沿固化滤饼厚度方向等间隔切割并编号,切割后的滤饼平面依次用粒度为 10、5 μm 的三氧化二铝粉进行打磨,最后采用粒度小于 0.1 μm 的三氧化二铝抛光液进行抛光。将抛光后的滤饼放在 ZEISS 偏光显微镜 Axio Scope A1 pol 下,调节偏光显微镜处于反射光明场状态,滤色滑块放在日光色温矫正滤色片,使滤饼中固体颗粒与孔隙内的灌注液产生明显差异。按固定步长 0.5 mm 移动滤饼,通过与偏光显微镜相连计算机上的 ProgRes Capturepro 软件拍摄每个取样点。滤饼图像通过 MATLAB 降噪、二值化处理后,测量滤饼的孔径、孔面积和孔隙率。

2 试验结果与分析

2.1 分段过滤对煤泥水过滤效果的影响

2.1.1 分段过滤对滤饼水分的影响

6 种级配煤样煤泥水在质量浓度 400 g/L、过滤压力 0.6 MPa 下混合过滤和分段过滤所得滤饼的水分如图3所示。其中,煤泥水分段过滤的滤饼水分分为二段过滤结束后滤饼的水分。

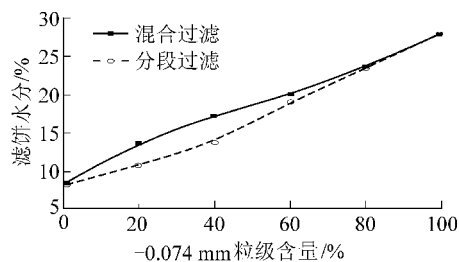


图3 煤泥水混合过滤和分段过滤的滤饼水分

Fig. 3 Moisture of filter cake under hybrid filtration and subsection filtration for coal slurry

从图3可以看出,煤泥水分段过滤的滤饼水分低于混合过滤的滤饼水分,且随着煤泥中 -0.074 mm 粒级含量的增加,分段过滤对滤饼水分的影响先快速增加后降低,如煤泥中 -0.074 mm 粒级含量由 0 增加到 20%、40% 和 60% 时,分段过滤的滤饼水分比混合过滤的滤饼水分依次降低了 0、21.64%、19.71% 和 4.40%。

2.1.2 分段过滤对成饼时间的影响

成饼时间是指从过滤开始到滤饼完全形成的时间,这段时间更能反映煤泥水过滤的难易程度。图4为 6 种级配煤样煤泥水在质量浓度 400 g/L、过滤压力 0.6 MPa 下混合过滤和分段过滤的成饼时间。

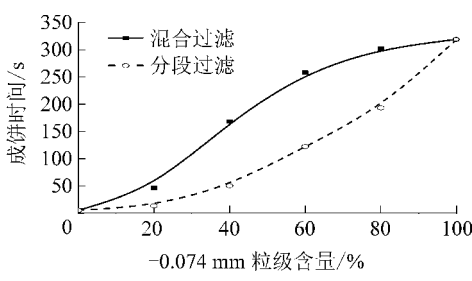


图4 煤泥水混合过滤和分段过滤的成饼时间
Fig.4 Formation time of hybrid filtration and subsection filtration for coal slurry

从图4可以看出,与煤泥水混合过滤相比,煤泥水分段过滤可以显著降低成饼时间。分析原因认为,煤泥水分段过滤将易过滤的粗粒级煤泥与难过滤的细粒级煤泥分开过滤,即保证了易过滤的粗粒级煤泥的快速过滤,又避免了-0.074 mm 粒级煤泥在滤饼厚度上的任意分布,降低了致密过滤层对煤泥水过滤的影响,使煤泥水分段过滤的成饼时间显著降低。

随着煤泥中-0.074 mm 粒级含量的增加,煤泥水分段过滤对成饼时间的影响先快速增加后降低,如煤泥中-0.074 mm 粒级含量由0增加到20%、40%和60%,分段过滤的成饼时间比混合过滤的成饼时间依次降低了0、71.74%、70.24%和52.71%,这表明煤泥水分段过滤对成饼时间影响最大的位置与对滤饼水分影响最大的位置基本一致。

2.1.3 分段过滤对脱水速率的影响

为了衡量煤泥水过滤脱水速度的快慢,笔者引入了过滤脱水速率。煤泥水过滤脱水速率是指从煤泥水过滤开始至过滤结束这段时间内单位时间滤饼水分的变化。由于煤泥水分段过滤的一段过滤速度较快,对分段过滤快慢影响最大的是二段过滤的脱水速率。因此,本论文研究的煤泥水分段过滤脱水速率为二段过滤的脱水速率。从煤泥水过滤开始至过滤结束,滤饼水分与过滤时间的关系如图5所示。

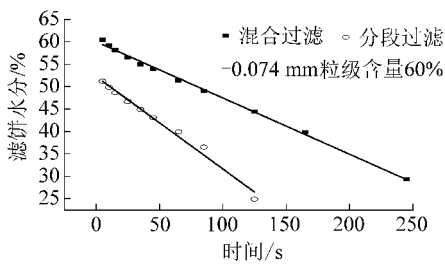


图5 滤饼水分与过滤时间的关系

Fig.5 Relationship between filter cake moisture and filtration time

束这段时间内,滤饼水分与过滤时间之间有良好的线性关系,煤泥水过滤脱水速率方程为

$$\frac{dM}{dt} = -C \tag{1}$$

式中: M 为滤饼的水分; t 为过滤时间; C 为煤泥水过滤的脱水速率。

煤泥水过滤脱水速率的大小与过滤入料性质、设备的操作参数和设备的结构参数有关。当煤泥水过滤的入料性质、设备的操作参数和结构参数确定情况下,煤泥水过滤过程中的脱水速率是一常数。根据煤泥水过滤脱水速率方程,计算煤泥水混合过滤和分段过滤的脱水速率。不同过滤方式下煤泥水过滤脱水速率的计算结果见表2,图6是六种级配煤样煤泥水在质量浓度400 g/L、过滤压力0.6 MPa下混合过滤和分段过滤的脱水速率。

表2 不同过滤方式下煤泥水过滤脱水速率的计算结果

Table 2 Results of dehydration rate under different filtration methods

-0.074 mm 粒级含量/%	脱水速率/(%·s ⁻¹)		决定系数 R ²	
	混合	分段	混合	分段
0	3.17	3.17	0.99	0.99
20	0.69	1.58	0.99	1.00
40	0.21	0.37	0.99	0.98
60	0.13	0.21	0.99	0.98
80	0.10	0.13	0.99	0.99
100	0.09	0.09	0.99	0.99

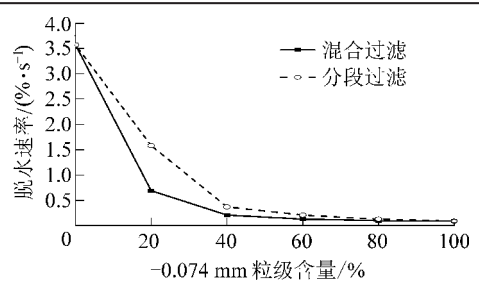


图6 煤泥水混合过滤和分段过滤的脱水速率

Fig.6 Dehydration rate of hybrid filtration and subsection filtration for coal slurry

从表2可以看出,煤泥水过滤开始至过滤结束这段时间内,不同过滤方式下煤泥水过滤的滤饼水分与过滤时间均有较好的线性关系,线性拟合的相关系数均在0.98以上,且煤泥水分段过滤的脱水速率大于混合过滤的脱水速率。

从图6可以看出,随着煤泥中-0.074 mm 粒级含量的增加,煤泥水分段过滤对脱水速率的影响先

快速增加后降低,且煤泥中 -0.074 mm 粒级含量大于 80% 时,分段过滤对脱水速率无显著影响,这与分段过滤对滤饼水分和成饼时间的影响基本一致。

2.2 分段过滤对滤饼孔隙结构的影响

2.2.1 分段过滤对滤饼孔隙大小的影响

以煤泥中 -0.074 mm 粒级含量 60% 为例,煤泥水分段过滤的滤饼孔隙二值化图像如图7所示,图7中白色部分为煤颗粒,黑色部分为滤饼的孔隙。可以看出,煤泥水分段过滤的滤饼孔隙由3部分组成,即一段过滤滤饼孔隙、二段过滤滤饼孔隙和过渡区域滤饼孔隙。一段过滤滤饼孔隙是由 $0.5\sim 0.074$

mm 粒级颗粒形成的粒间孔隙,这类孔隙较大,滤饼的孔隙率高达 36.74% ;一段滤饼与滤布的粘合力弱,滤饼容易脱落,卸饼容易。二段过滤滤饼孔隙是由 -0.074 mm 粒级颗粒形成的粒间孔隙,这类孔隙较小,滤饼的孔隙率低至 20.74% 。过渡区域滤饼处于一段过滤滤饼和二段过滤滤饼的交界处,是由 -0.074 mm 粒级颗粒填充进一段过滤滤饼的孔隙中而形成,过渡区域的滤饼厚度较薄。由于 -0.074 mm 粒级颗粒的填充作用,过渡区域的滤饼孔隙比一段过滤的滤饼孔隙小,且滤饼的孔隙率介于一段滤饼孔隙率和二段滤饼孔隙率之间。

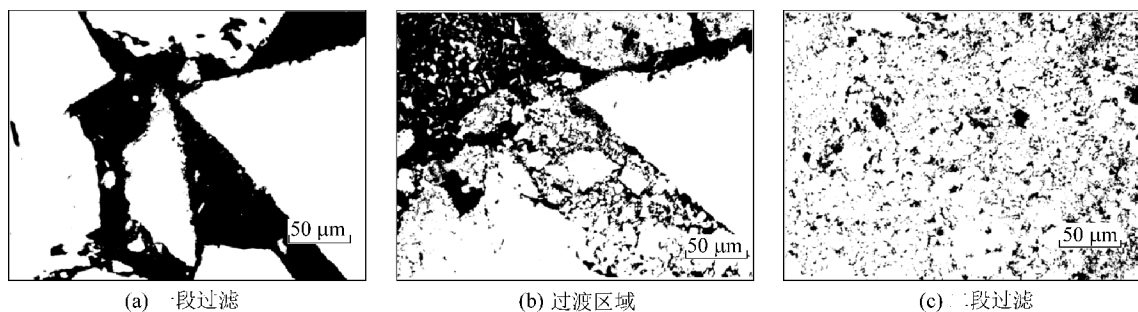


图7 分段过滤的滤饼孔隙二值化图像

Fig. 7 Binary image of filter cake pores under subsection filtration

为进一步研究煤泥水分段过滤对滤饼孔隙大小的影响,笔者测量了6种级配煤样煤泥水在质量浓

度 400 g/L 、过滤压力 0.6 MPa 下混合过滤和分段过滤的滤饼孔隙大小,结果如图8所示。

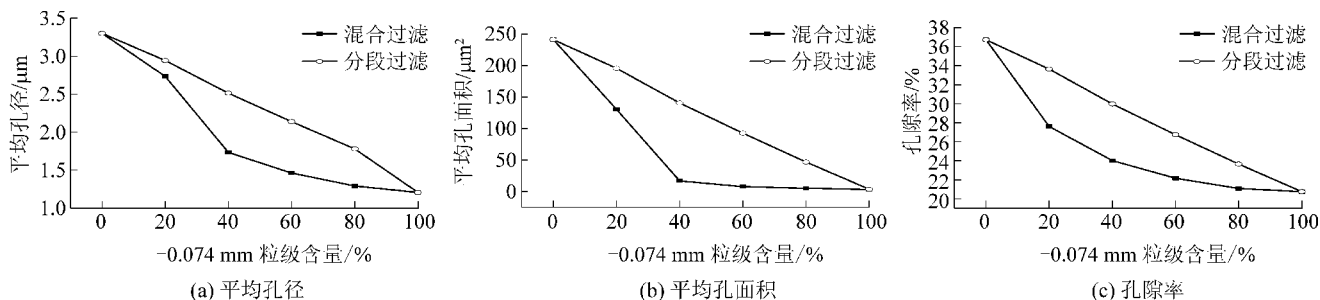


图8 煤泥水混合过滤和分段过滤的滤饼孔隙大小

Fig. 8 Pore size of filter cake under hybrid filtration and subsection filtration for coal slurry

试验结果表明,煤泥水分段过滤的滤饼平均孔径、平均孔面积和孔隙率均大于混合过滤的,如煤泥中 -0.074 mm 粒级含量为 60% 时,混合过滤和分段过滤的滤饼平均孔径分别为 $1.46\text{ }\mu\text{m}$ 和 $2.14\text{ }\mu\text{m}$,滤饼平均孔面积分别为 $7.72\text{ }\mu\text{m}^2$ 和 $92.70\text{ }\mu\text{m}^2$,滤饼孔隙率分别为 22.15% 和 26.74% 。煤泥水分段过滤极大地减少了 -0.074 mm 粒级对粗颗粒形成的大孔隙的填充, -0.074 mm 粒级对粗颗粒形成的大孔隙的填充仅出现在一段过滤和二段过滤滤饼的交界处。煤泥水分段过滤改变了滤饼孔隙的组成和空间分布,使滤饼中的大孔隙含量

增加,导致滤饼的平均孔径、平均孔面积和孔隙率增大。

随着煤泥中 -0.074 mm 粒级含量的增加,煤泥水分段过滤对滤饼孔隙大小的影响先增大后降低,如煤泥中 -0.074 mm 粒级含量由 20% 增加到 40% 、 60% 和 80% 时,煤泥水分段过滤的滤饼平均孔径分别增加了 7.69% 、 45.09% 、 46.58% 和 37.98% ,滤饼孔隙率分别增加了 21.91% 、 24.82% 、 20.72% 和 12.19% ,这表明煤泥水分段过滤对滤饼孔隙结构影响最大的位置与对滤饼水分、成饼时间和脱水速率影响最大的位置基本一致。

2.2.2 分段过滤对滤饼孔隙分布的影响

以煤泥中-0.074 mm 粒级含量 60% 为例,利用滤饼孔隙的直径和面积,绘制了煤泥水混合过滤和分段过滤的滤饼孔径-孔面积的分布曲线,如图 9 所示。

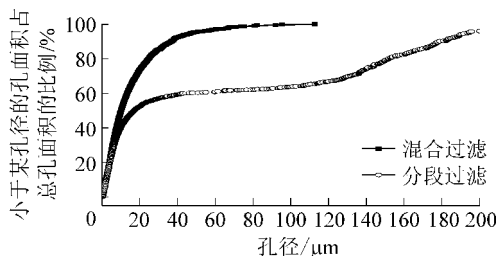


图 9 不同过滤方式下滤饼孔径-孔面积分布

Fig. 9 Pore size and pore area distribution curve of filter cake under different filtration method

从图 9 可以看出,煤泥水混合过滤和分段过滤时,滤饼中孔径小于 4 μm 的孔面积占总孔面积的比例分别为 19.71% 和 19.04%,孔径小于 50 μm 的孔面积占总孔面积的比例分别为 95.46% 和 60.28%。这说明与混合过滤相比,煤泥水分段过滤的滤饼中孔径小于 4 μm 的孔隙含量基本不变,孔径 4~50 μm 的孔隙含量明显减少,孔径大于 50 μm 的孔隙含量明显增大。分析原因是,煤泥水分段过滤极大地减少了-0.074 mm 粒级对粗颗粒形成的大孔隙的填充,导致粗颗粒形成的大孔隙含量增多,-0.074 mm 粒级填充大孔隙而形成的中间孔隙含量减少。

2.3 分段过滤机理分析

与混合过滤相比,煤泥水分段过滤的本质是减少-0.074 mm 粒级对粗颗粒形成的大孔隙的填充,-0.074 mm 粒级绝大部分在二段过滤滤饼和过渡区域滤饼中,改变了滤饼的孔隙结构和孔隙在空间上的分布,导致滤饼中大孔隙的含量增加,小孔隙的含量降低,滤饼的平均孔径和孔隙率增大。

根据 Young-Laplace 方程,毛细管压力的计算公式为

$$\Delta P_c = \frac{2\sigma \cos \theta}{r} \quad (1)$$

式中: ΔP_c 为毛细管压力, Pa; σ 为液体的表面张力, mN/m; θ 为接触角; r 为毛细管半径, mm。

由毛细管压力计算公式可知,毛细管的半径越大,相同条件下毛细管压力越小。滤饼中的孔隙相当于毛细管,滤饼中大孔隙的毛细管压力更小,当高压空气穿透饱和滤饼时,滤饼大孔隙内的水更容易被空气置换出,导致煤泥水分段过滤的滤饼水分比

混合过滤的滤饼水分低,理论分析结果与过滤试验的结果一致。

渗透率反映了液体通过多孔介质的难易程度,其大小仅取决于多孔介质的孔隙结构,与液体或多孔介质的外部几何尺寸无关^[18-19]。渗透率微观模型是利用多孔介质孔隙结构计算其渗透率,其中最典型的是 Kozeny-Carman 模型^[20-21]:

$$K = \frac{\varepsilon^3}{\zeta(1 - \varepsilon)^2 S_0^2} \quad (2)$$

式中: K 为多孔介质的渗透率, cm^2 ; ε 为多孔介质的孔隙率; ζ 为 Kozeny 常数; S_0 为颗粒的比表面积, cm^2/cm^3 。

滤饼孔隙结构研究表明,煤泥水分段过滤的滤饼平均孔径和孔隙率更大,导致煤泥水分段过滤的滤饼渗透率增加。因此,相同过滤条件下煤泥水分段过滤的脱水速率增大,成饼时间大幅缩短。

当煤泥中-0.074 mm 粒级含量较低时,-0.074 mm 粒级对粗颗粒形成的大孔隙的填充作用较弱,分段过滤对滤饼孔隙结构的改变不明显。当煤泥中-0.074 mm 粒级含量较高时,滤饼孔隙以-0.074 mm 粒级形成的小孔隙为主,分段过滤对滤饼孔隙结构的影响也不显著。当煤泥中-0.074 mm 粒级含量在 20%~40% 时,-0.074 mm 粒级对粗颗粒形成的大孔隙的填充严重,煤泥水分段过滤对滤饼水分、成饼时间、脱水速率和滤饼孔隙结构的影响也最显著。因此,随着煤泥中-0.074 mm 粒级含量的逐渐增加,煤泥水分段过滤对滤饼水分、成饼时间、脱水速率和滤饼孔隙结构的影响先快速增加,达到最大值后降低。

3 结 论

1) 煤泥水分段过滤可以降低滤饼水分、缩短成饼时间和增加脱水速率,且随着煤泥中-0.074 mm 粒级含量的增加,煤泥水分段过滤对滤饼水分、成饼时间和脱水速率的影响先快速增加,达到最大后降低。

2) 与混合过滤相比,煤泥水分段过滤的滤饼平均孔径、平均孔面积和孔隙率增大;一段过滤滤饼与滤布的粘合力弱,滤饼容易脱落,卸饼容易。

3) 煤泥水分段过滤的本质是减少了-0.074 mm 粒级对粗颗粒形成的大孔隙的填充,使滤饼中孔径大于 50 μm 的孔隙含量增多,孔径 4~50 μm 的孔隙含量减少。

参考文献(References):

- [1] 林 喆,杨 超,沈正义,等.高泥化煤泥水的性质及其沉降特性[J].煤炭学报,2010,35(2):312-315.
LIN Zhe, YANG Chao, SHEN Zhengyi, *et al.* The properties and sedimentation characteristics of extremely sliming coal slime water [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(2): 312-315.
- [2] 张志军,刘炯天,冯 莉,等.基于 DLVO 理论的煤泥水体系的临界硬度计算[J].中国矿业大学学报,2014,43(1):120-125.
ZHANG Zhijun, LIU Jiongtian, FENG Li, *et al.* Calculation of critical hardness of coal slime water system based on DLVO theory [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2014, 43(1): 120-125.
- [3] 王卫东,李 昭,严 蕾,等.微波辐照改变煤泥水沉降过滤性能的机理[J].煤炭学报,2014,39(S2):503-507.
WANG Weidong, LI Zhao, YAN Lei, *et al.* Separating characteristics of coal and water with microwave irradiation preprocessing [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(S2): 503-507.
- [4] 于跃先,马力强,张仲玲,等.ZS 乳化剂对褐煤半焦浮选结果的影响及机理分析[J].煤炭科学技术,2016,44(3):184-187.
YU Yuexian, MA Liqiang, ZHANG Zhongling, *et al.* Analysis of emulsified ZS reagent effect on flotation results of lignite semi-coke and its mechanism [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(3): 184-187.
- [5] 朱桂华,王万斌,张丽欣,等.厢式隔膜压滤机深度脱水最优过滤压力[J].环境工程学报,2015 9(10):5045-5048.
ZHU Guihua, WANG Wanbin, ZHANG Lixin, *et al.* Optimization of filtration pressure on deep dehydration of sludge in van membrane filter press [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2015, 9(10): 5045-5048.
- [6] 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,2001,30(4):375-378.
XIE Guangyuan, OU Zeshen, ZHANG Hongan. Research on pressure filter and dewatering process for clean coal [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2001, 30(4): 375-378.
- [7] MOTA M, FLICKINGER M C. Modeling the influence of slurry concentration on *saccharomyces cerevisiae* cake porosity and resistance during microfiltration [J]. Biotechnology Progress, 2012, 28(6): 1534-1541.
- [8] 樊玉萍,董宪姝.粒度组成特性对煤泥脱水效果影响的研究[J].中国煤炭,2015,41(3):95-100.
FAN Yuping, DONG Xianshu. Study on dehydration effect of fine coal slurry based on particle characteristics [J]. China Coal, 2015, 41(3): 95-100.
- [9] 杨 斌,张振阳,郝 朋,等.通过改善粒度组成提高浮选精煤脱水效果试验研究[J].煤炭工程,2013,45(12):106-108.
YANG Xiao, SUN Yuan, XI Peng, *et al.* Experiment study on dewatering effect of floatation clean coal upgraded with improvement of coal particle size composition [J]. Coal Engineering, 2013, 45(12): 106-108.
- [10] 徐 岩,赵 昕,马仲涛.浮选精煤粒度组成对过滤效果的影响与分析[J].洁净煤技术,2009,15(4):17-20.
XU Yan, ZHAO Xin, MA Zhongtao. Impact and analysis of filter effects about floatation clean coal of size distribution [J]. Clean Coal Technology, 2009, 15(4): 17-20.
- [11] 谢广元,吴 玲,欧泽深,等.从细粒煤泥中回收精煤的分选与脱水技术研究[J].煤炭学报,2009,29(5):602-605.
XIE Guangyuan, WU Ling, OU Zeshen, *et al.* Study on separation and dewatering techniques of recovering clean coal from fine coal [J]. Journal of China Coal Society, 2009, 29(5): 602-605.
- [12] KINNARINEN T, TUUNILA R, HÄKKINEN A. Reduction of the width of particle size distribution to improve pressure filtration properties of slurries [J]. Minerals Engineering, 2017, 102: 68-74.
- [13] 亓 欣,匡亚莉.黏土矿物对煤泥水处理的影响[J].煤炭工程,2013(2):102-105.
QI Xin, KUANG Yali. Clay mineral affected to treatment of coal slurry water [J]. Coal Engineering, 2013(2): 102-105.
- [14] 支献华,朱书全,刘伯红.煤质特性对助滤剂助滤效果影响的试验研究[J].选煤技术,2000(5):18-19.
ZHI Xianhua, ZHU Shuquan, LIU Bohong. Experimental study on the effect of coal quality on filter aid effects [J]. Coal Preparation Technology, 2000(5): 18-19.
- [15] 王东辉,刘文礼,张学仁,等.煤泥水压滤滤饼孔隙结构特征研究[J].矿业科学学报,2017,2(2):183-190.
WANG Donghui, LIU Wenli, ZHANG Xueren, *et al.* Pore structure characteristics of filter cake in coal slurry water pressure filtration [J]. Journal of Mining Science and Technology, 2017, 2(2): 183-190.
- [16] 王东辉,刘文礼,张学仁,等.实验室煤泥水正压过滤装置:中国,ZL201520221785.5[P].2015-11-18.
- [17] 王东辉,刘文礼,张学仁,等.煤泥滤饼固化装置及方法:中国,ZL201510172190.X[P].2016-03-16.
- [18] 杨胜来,魏俊之.油层物理学[M].北京:石油工业出版社,2015.
- [19] 罗蛰潭.油层物理[M].北京:地质出版社,1985.
- [20] KOZENY J. Über kapillare leitung des wassers im Boden Stizurgs-berichte [J]. Royal Academy of Science, Vienna, Proceedings, Class I, 1927, 136: 271-306.
- [21] CARMAN P C. Fluid flow through granular beds [J]. Transactions of the Institution of Chemical Engineers, 1937, 15: 150-166.