

水质硬度对煤泥水沉降特性的影响

宋文革¹, 杨娟利²

(1. 国能神东煤炭技术研究院, 陕西 榆林 719315; 2. 中国煤炭科工集团 信息技术有限公司, 陕西 西安 710054)

摘要: 选煤厂生产用水的硬度对煤泥水沉降特性有重要影响, 主要研究了选煤厂生产用水硬度与煤泥水沉降性能之间的关系。利用 X 射线衍射 (XRD) 技术和离子色谱仪技术对 5 个选煤厂煤泥水样品进行矿物组分和水化学分析。结果表明, 选煤厂循环水的水质硬度由煤泥所含矿物组分决定。沉降试验表明, 煤泥样品水质硬度与矿物组分密切相关, 可用于评价沉降特性。进一步研究表明, 随水质硬度增加, 煤泥水沉降速度和上清液透光率增加。在沉降速率和透光率曲线上, 斜率逐渐减小。5 种煤样的沉降速率和透光率验证试验结果一致。

关键词: 煤泥水; 矿物组分; 水质硬度; 沉降速率; 透光率

中图分类号: TD94

文献标志码: A

文章编号: 1006-6772(2023)S2-0650-04

Effect of water hardness on settlement characteristics of coal slime tailings

SONG Wenge¹, YANG Juanli²

(1. CHEN Energy Shendong Coal Technology Research Institute, Yulin 719315, China; 2. Information Technology Co., Ltd., China Coal Technology and Engineering Group, Xi'an 710054, China)

Abstract: Water hardness has an important effect on the settling characteristics of coal tailings. The relationship between hardness of production water and settling property of slime water in coal preparation plant was studied. The mineral composition and water chemistry of slime water samples from five coal preparation plants were analyzed by using X-ray diffraction (XRD) and ion chromatography. The research results show that the hardness of circulating water in coal preparation plant is determined by the mineral composition of coal slime. The settling test shows that the water hardness of coal slime sample is closely related to the mineral composition, which can be used to evaluate the settling characteristics. Further research shows that the settling velocity of slime water and the light transmittance of supernatant increase with the increase of water hardness. On the curve of sedimentation rate and transmissivity, the slope gradually decreases. The sedimentation rate and light transmittance of five coal samples are consistent with the verification test results.

Key words: coal slime tailings; mineral composition; hardness; settlement rate; translucency

0 引言

煤炭是最重要的能源资源之一, 随现代化采煤技术不断进步, 原煤中的杂质含量逐渐增加, 给煤炭分选工艺造成了巨大压力^[1-2]。部分地区煤炭消耗量大, 而水资源匮乏, 煤泥尾矿的澄清处理和循环水的使用十分必要。其中, 煤泥水中悬浮和溶解的固体物杂质会导致煤炭分选效率降低, 如何产生优质的选煤厂循环水成为关键技术问题。因此, 煤泥水沉降已成为提高经济效益、节约水资源、减少污水排放的重要措施^[3-4]。选煤厂分选用水净度和煤泥水

中固体物沉降速率是评估沉降性能的 2 个重要指标。由于选煤厂生产采用循环水, 为避免煤泥水中的固体杂质对煤炭分选造成干扰及降低絮凝剂的使用量, 循环水中的胶体悬浮颗粒浓度应处于较低水平。

国内外学者从药剂、设备和工艺等方面对煤泥水处理进行广泛研究, 而对水化学性质和胶体角度研究的较少。细粒煤泥和黏土矿物如蒙脱石、高岭石和伊利石是悬浮液胶体中的主要矿物成分。在自然 pH 下, 由于细粒颗粒表面存在负电荷导致颗粒间相互排斥而难以沉降。煤泥水中赋存的多价金属

收稿日期: 2022-08-11; 责任编辑: 张鑫 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.22081104

基金项目: 四川省科技厅资助项目 (2021ZYD0101)

作者简介: 宋文革 (1969—), 男, 山西文水人, 正高级工程师。E-mail: 10026728@chnenergy.com.cn

引用格式: 宋文革, 杨娟利. 水质硬度对煤泥水沉降特性的影响 [J]. 洁净煤技术, 2023, 29(S2): 650-653.

SONG Wenge, YANG Juanli. Effect of water hardness on settlement characteristics of coal slime tailings [J]. Clean Coal Technology, 2023, 29(S2): 650-653.

阳离子是影响煤泥水沉降的关键因素之一^[5-8]。煤泥水中的多价阳离子主要包括 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 和 Fe^{3+} , 其中 Al^{3+} 和 Fe^{3+} 含量较少, 因此煤泥水的硬度近似可用 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量表征, 其与水的硬度相近。多价阳离子主要通过在水中的溶解和矿物浸出 2 种途径进入煤泥水中^[10-11]。同时, 采用德国硬度标准进行硬度测量 ($1^\circ\text{DH} = 10 \text{ mg/L CaO}$)。因此, 为探究选煤厂生产用水的硬度对煤泥水沉降特性的影响, 研究了水质硬度与煤泥水沉降性能之间的关系。

1 试验

1.1 试验材料

试验采用样品来自于枣庄、谢桥、潘集、淮北和临涣选煤厂的煤泥水, 其中煤炭分选添加疏水性捕收剂对煤泥水中离子浓度无影响。试验对矿浆中的固体继续筛分处理, 从矿浆中分离出来, 并在 80°C 条件下干燥 6 h。随后, 利用煤样分离装置对样品进行分离, 每 50 g 分装 1 袋保存。另外, 采集 5 家选煤厂的生产循环水进行测试分析, 比较循环水和清水中的矿物质成分。沉降试验采用分子量为 15 000 000 的聚丙烯酰胺 (PAM) 作为絮凝剂。在沉降试验前, 使用去离子水制备质量分数 0.2% 的 PAM 溶液。配制 1 mol/L 的 CaCl_2 溶液用于调节沉降试验的水的硬度。

1.2 试验测试

1) 试验采用 XRD (Smartlab SE) 对 5 个选煤厂的煤泥水中矿物组成进行测试。同时, 利用离子色

谱仪 (Metrohm, 850) 对 5 个选煤厂清水和循环水中的离子浓度进行分析。

2) 沉降试验所需煤泥水采集自邢台选煤厂, 所有的沉降试验在 1 个 1 L 的量筒中进行。在装有一定体积和硬度的水中加入 50 g 干煤泥, 在机械搅拌方式以 1 000 r/min 配置为 50 g/L 的矿浆样品。将配制完成的 PAM 溶液添加到矿浆中, 同时设置未添加 PAM 溶液的对照组, 观察 2 组试验的差异。将含有 PAM 的矿浆在实验室搅拌器下搅拌 5 min 后倒入量筒中, 同时记录矿浆与水界面随时间的高度变化, 用以计算悬浮液沉降速度。沉降 5 min 后取上清液, 并通过紫外-可见分光光度计 (Lambda950) 测量上清液透光率。

3) 同时进行矿浆沉降测试, 以验证 5 种煤泥水样品的沉降性能。将 50 g 干燥煤泥颗粒和 85 g/t PAM 固体添加到量筒, 并加入适量水, 利用实验室搅拌器以 500 r/min 搅拌 30 min 制备成 50 g/L 的矿浆, 煤泥颗粒表面析出金属离子, 待离子浓度保持稳定后, 选取上清液并测量上清液的沉降率和透光率, 对比分析不同样品的水质硬度差异。

2 结果与分析

2.1 煤泥矿物组分与水化学分析

5 种煤样的矿物组分 XRD 分析见表 1, 其主要由高岭石、伊利石、蒙脱石、铝硅酸盐矿物、石英、云母石、菱铁矿、黄铁矿和石灰石组成。5 个选煤厂煤泥水质的水化学分析测试结果见表 2。

表 1 煤样矿物组分

煤样	矿物组分质量分数/%							
	高岭石	伊利石	蒙脱石	铝硅酸盐	伊利石/蒙脱石	总黏土矿物	石英	总含氧化物
枣庄	10.65	0.10	0	0	0.10	10.85	6.45	6.45
谢桥	50.13	0.68	0.06	0	0.13	61.00	9.16	9.16
潘集	45.56	9.49	4.16	0.06	14.98	74.25	10.67	10.67
淮北	59.01	0.15	0	0.12	12.03	71.31	31.08	31.08
临涣	49.69	7.15	5.07	3.21	9.15	74.27	15.62	15.62
煤样	矿物组分质量分数/%							
	铝硅酸盐	云母石	菱铁矿	总碳酸盐矿物	黄铁矿	石灰石	总硫化矿	其他
枣庄	34.24	34.18	0	68.42	7.24	5.46	12.70	0
谢桥	10.00	5.53	0	15.53	6.35	4.29	10.64	0
潘集	2.24	2.14	0	4.38	7.17	3.31	10.48	6.58
淮北	0	34.18	0	34.18	4.20	2.15	6.7	0.10
临涣	2.35	0.87	0	3.22	3.97	5.18	9.15	4.08

表 2 样品水化学分析

样品	类别	mg/L									
		Na ⁺ /K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Fe ³⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ³⁻	总离子	硬度
枣庄	清水	76.35	567.46	223.47	0	0	760.46	307.24	124.25	2 059.23	131.87
	循环水	268.34	594.47	320.57	0	0	1 007.56	675.43	259.14	3 125.51	158.36
谢桥	清水	249.68	520.56	147.35	0.67	2.78	337.37	1 758.64	95.00	3 112.05	108.11
	循环水	406.10	454.78	128.45	0.68	2.65	347.13	1 912.12	94.90	3 346.81	94.48
潘集	清水	15.49	50.00	15.32	0	1.87	23.00	0	175.27	280.95	11.03
	循环水	330.12	33.21	12.43	0	2.35	42.78	152.17	590.11	1 163.17	7.78
淮北	清水	50.03	107.47	31.42	0.12	0	75.12	133.26	301.17	698.59	22.35
	循环水	311.37	21.00	9.35	0.13	3.56	64.11	180.90	604.77	1 195.19	5.74
临涣	清水	216.56	69.57	53.26	1.24	0	58.46	300.56	582.75	1 282.40	22.63
	循环水	424.13	13.37	9.91	0.57	2.89	101.12	446.47	481.79	1 480.25	4.69

由表 2 可知,5 个选煤厂用水的循环水总离子浓度大于清水,在煤炭分选过程中,离子在矿物表面发生吸附和脱附,其浓度发生改变。选煤厂在选煤过程中最初使用清水作为选煤水,在第 1 个循环后开始循环使用,循环水经多次循环积累后,离子浓度达到平衡。除枣庄选煤厂外,循环水的硬度均低于清水。枣庄煤中黏土矿物质量分数仅为 10.85%,其他煤中黏土矿物质量分数均在 60%以上。枣庄煤中碳酸盐矿物质量分数为 68.42%,其中石灰石含量最高,为 5.46%,石灰石能释放 Ca²⁺ 和 Mg²⁺,提高循环水的硬度。另外 4 种煤中存在大量黏土矿物,而黏土矿物吸附 Ca²⁺ 和 Mg²⁺,降低了循环水的硬度。

5 个选煤厂清水和循环水的水化学、矿物组分分析以及离子组成表明煤中黏土矿物降低了 Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 的浓度,而碳酸盐矿物则相反,这与文献[12]一致。

2.2 水质硬度对煤泥尾矿沉降的影响

在不同水质硬度下进行沉降试验,结果如图 1 所示,可知水质硬度对煤泥水上清液沉降率和透光率的影响。结果表明,随水质硬度增加,矿浆易沉降,沉降率高,上清液清晰。沉降速率曲线和透射率曲线的斜率呈逐渐下降趋势。

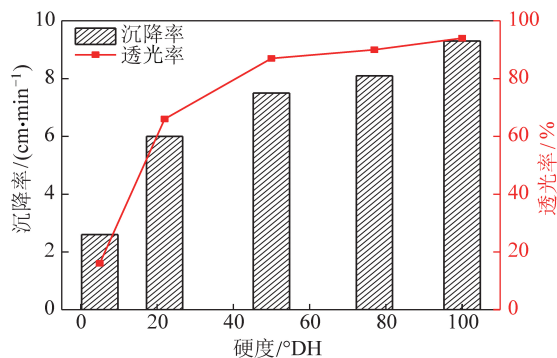


图 1 水质硬度对上清液沉降速率和透光率的影响

图 2 为添加 80 g/t PAM 后,不同水质硬度下的煤泥矿浆上清液沉降速率和透光率。对比图 1 和图 2,可知 2 条曲线呈相同趋势。同时值得注意的是,加入 PAM 虽加快了沉淀速度,但对上清液透光率的影响较小。文献研究表明由于多价阳离子(Ca²⁺、Mg²⁺、Al³⁺ 和 Fe³⁺ 等)的存在引起双电层压缩,颗粒表面水化膜厚度减小,颗粒表面负电荷降低,使颗粒易发生絮凝。

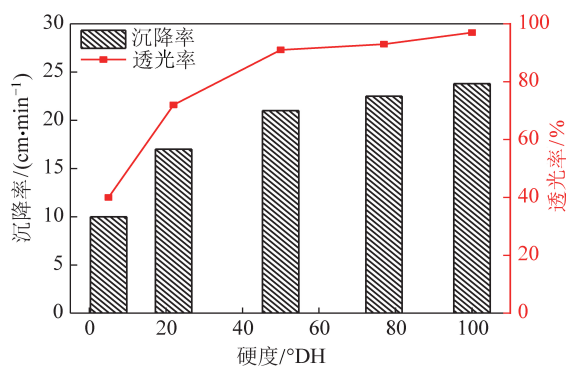


图 2 水质硬度对上清液沉降速率和透光率的影响

2.3 煤泥尾矿沉降性能试验验证

在 5 种煤泥样品上,加入 80 g/t PAM 固体进行煤泥矿浆上清液沉降率和透光率的试验验证,如图 3 所示。可知枣庄、谢桥、潘集、淮北和临涣选煤厂煤泥矿浆的沉降速率分别为 22.60、19.30、11.50、9.80 和 8.60 cm/min,透光率分别为 95.30%、89.40%、40.50%、35.60% 和 28.90%,硬度分别为 158.4、94.6、7.9、5.7 和 4.8 °DH。枣庄和谢桥煤样的沉降速率和上清液透光率均高于其他选煤厂。结合表 2 中 5 个选煤厂样品的水化学分析,发现与第 2.2 节的结果一致。虽难以在线监测循环水的矿物组成,但由于循环水的水硬度与矿物组成密切相关,因此可利用循环水的水硬度来评估其沉降特性。

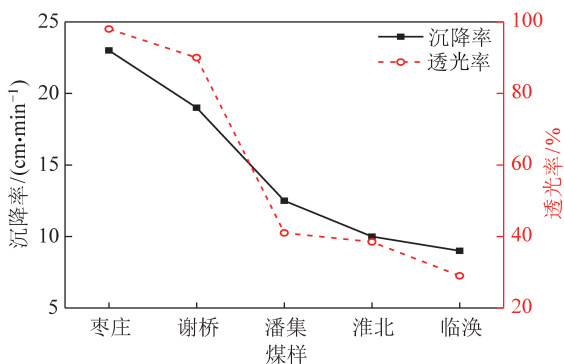


图3 5种煤泥样品的沉降性能

3 总 结

1) 矿物组分和水化学分析测试表明,循环水的硬度与煤的矿物组成有关。碳酸盐矿物,尤其是石灰石,可在矿浆中释放 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} ,增加循环水的硬度。煤中大量黏土矿物的存在,会吸附 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} ,降低循环水的硬度。

2) 不同水样的沉降试验结果表明,随水质硬度的增加,沉降速率也增加,产生透光率高的上清液,但沉降速率的增速和透光率下降。

3) 对5种煤样的沉降性能进行比较,硬度较高的枣庄和谢桥煤样,硬度超 90°DH ,沉降速率超过 19 cm/min ,上清液清澈,透光率超过 89% 。硬度在 10°DH 以下的潘集、淮北和临涣选煤厂样品沉降率低于 12 cm/min ,透光率低于 41% 。

参考文献:

- [1] 闵凡飞,汪婷,任豹,等. APAM在水/高岭石界面吸附行为的试验和分子模拟研究[J]. 中国矿业大学学报, 2022, 51(3): 572-580.
- [2] 张磊,师亚文,康学刚. 煤泥水处理加药点位置选择分析[J]. 洁净煤技术, 2021, 27(6): 207-211.
- [3] 杨彦斌,屈进州,朱子祺,等. 难沉降煤泥水全流程处理技术研究进展[J]. 洁净煤技术, 2021, 27(5): 106-114.
- [4] 文献才. 平煤天宏难处理煤泥水沉降试验研究[J]. 煤炭工程, 2019, 51(10): 148-151.
- [5] 马晓敏,樊玉萍,董宪妹,等. 药剂吸附与剪切条件对煤泥水絮凝效果的影响[J]. 中国矿业, 2019, 28(4): 156-162.
- [6] 冯泽宇,董宪妹,马晓敏,等. 离子特性对煤泥水凝聚过程的影响[J]. 矿产综合利用, 2018(5): 63-67.
- [7] 杜佳,闵凡飞,刘令云,等. 煤泥水溶液中水质硬度对伊利石颗粒分散行为的影响[J]. 煤炭技术, 2016, 35(11): 313-315.
- [8] 王会平,张鸿波,王云婷,等. 含煤系高岭土煤泥的沉降实验研究[J]. 中国矿业, 2016, 25(6): 114-117.
- [9] 乔尚元,李建军,朱金波,等. 煤泥水处理新技术及发展趋势[J]. 水处理技术, 2016, 42(6): 8-11.
- [10] 张志军,刘炯天. 基于原生硬度的煤泥水沉降性能分析[J]. 煤炭学报, 2014, 39(4): 757-763.
- [11] 杨吉. 水质硬度对高灰难选煤泥浮选的影响研究[J]. 中国煤炭, 2013, 39(1): 82-85,94.
- [12] 张志军,刘炯天,邹文杰,等. 水质硬度对煤泥浮选的影响[J]. 中国矿业大学学报, 2011, 40(4): 612-615.