



移动扫码阅读

李大尉,姚立明,吕玉庭,等.水力空化对褐煤水煤浆流变特性影响的试验研究[J].能源环境保护,2020,34(2):57-60.

LI Dawei, YAO Liming, LV Yuting, et al. Experimental study on the influence of hydrodynamic cavitation on the rheological characteristics of lignite coal water slurry[J]. Energy Environmental Protection, 2020, 34(2): 57-60.

水力空化对褐煤水煤浆流变特性影响的试验研究

李大尉¹, 姚立明¹, 吕玉庭², 裴禹¹, 赵孟石¹, 姚鸿宾¹

(1. 黑龙江省科学院高技术研究院, 黑龙江 哈尔滨 150090;

2. 黑龙江科技大学, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要:介绍了水力空化作用机理,研究了水力空化作用对褐煤水煤浆粘度的影响,探讨了空化后浆体内存在气泡的形态及影响关系。试验结果表明:水力空化处理后的水煤浆浆体流动性变好,水煤浆的粘度特性已由假塑性流体变成了类似牛顿流体;速度梯度为 100 s^{-1} 时的粘度指标由 $320\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 提高到 $340\text{ mPa}\cdot\text{s}$,速度梯度为 30 s^{-1} 时的粘度指标由 $420\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 提高到 $850\text{ mPa}\cdot\text{s}$, $30\text{ }\mu\text{m}$ 以下的细粒级含量明显高于空化前粒级的含量;水力空化作用在水煤浆中引入了大量不易消失的圆形微细气泡,气泡的占位作用提高了水煤浆粘度和稳定性,微细气泡的布朗运动破坏了颗粒之间的静电力吸附,圆形微细气泡成为水煤浆浆体流动过程中的润滑剂并改善水煤浆流变性能。

关键词:水力空化;水煤浆;流变性;褐煤

中图分类号:X752

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2020)02-0057-04

Experimental study on the influence of hydrodynamic cavitation on the rheological characteristics of lignite coal water slurry

LI Dawei¹, YAO Liming¹, LV Yuting², PEI Yu¹, ZHAO Mengshi¹, YAO Hongbin¹

(1. Institute of Advanced Technology Heilongjiang Academy of Sciences, Harbin 150090,

China; 2. Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: The mechanism of hydrodynamic cavitation was introduced. Its influence on the viscosity of lignite coal water slurry (CWS) was studied. Then the morphology of air bubbles in the slurry after cavitation and its impacts were discussed. The experimental results show that, after hydrodynamic cavitation, the fluidity of CWS becomes better. The viscosity of CWS changes from pseudoplastic fluid to Newtonian fluid. The viscosity of CWS increases from $320\text{ mPa}\cdot\text{s}$ to $340\text{ mPa}\cdot\text{s}$ at a speed gradient of 100 s^{-1} , and from $420\text{ mPa}\cdot\text{s}$ to $850\text{ mPa}\cdot\text{s}$ at a speed gradient of 30 s^{-1} . The content of fine coal particles under $30\text{ }\mu\text{m}$ increases significantly. Hydrodynamic cavitation introduce a lot of small air bubbles into CWS which can exist for a long time and increase the viscosity and stability of CWS. The Brownian motion of the fine bubbles destroys the electrostatic adsorption between particles and become a kind of lubricant in the flow process, thus the rheological property of CWS is improved.

Key Words: Hydrodynamic cavitation; Coal water slurry; Rheological property; Lignite

0 引言

水煤浆是一种新型低污染代油燃料,它是由

65%~70%的煤、30%~35%的水和约1%的添加剂制成的混合物,既保持了煤炭原有的物理特性,又可以像油一样管道输送和高效燃烧,被称为液态

收稿日期:2020-01-10

基金项目:黑龙江省科学院科研基金项目(KY2018GJS01)

第一作者简介:李大尉(1982-),男,黑龙江哈尔滨人,硕士,副研究员,主要从事水力空化技术应用研发工作。E-mail:lee821109@163.com

煤炭产品。我国褐煤资源赋存丰富,探明储量约 1 300 亿 t, 约占国内煤炭探明储量的 13%^[1-3], 目前,世界上首套采用褐煤水煤浆作为原料的水煤浆气化炉在大唐呼伦贝尔化肥有限公司运行,设计煤浆浓度为 53%, 运行煤浆浓度仅为 48.5%~49.5%^[4-6]。煤浆浓度过低导致气化比煤耗和比氧耗较高^[7-8]、冷煤气效率低^[9],造成项目经济性差^[10],同时也会引起合成气水汽比高、气化炉温度与压力波动等问题,严重影响着装置的“安、稳、长、满、优”运行。因此,提高褐煤的成浆浓度对褐煤的高效洁净化利用意义重大。

1 水力空化作用机理

当流道中局部压力下降至临界压力时,水开始汽化,形成气泡,气泡随着液体流动同时不断发育、长大、相互聚集,当进入压力较高的区域时,又发生分裂和溃灭^[11-12]。这个气泡产生、发育、聚集、分裂和溃灭的过程以及与之相伴随的许多现象称为空化。当空泡的溃灭发生在水力机械固体表面附近的时候,还会引起材料的破坏,称为空蚀^[13];当空泡的溃灭产生的微射流、高峰值脉冲压力、高温热效应被应用于各行业时,称为空化利用技术^[14]。

空化现象会对于螺旋桨等运动部件会造成汽蚀现象,对运动部件附近产生频率很高、瞬时压力很大的冲击^[15]。空化现象会在流体中产生大量的微细气泡,对于某些需要高频振动来作用的过程可能起到意想不到的效果。根据空化作用原理,设计了最大转速 16 000 r/min 的调速空化器用于研究空化作用对于水煤浆流变特性的影响。

当流畅内的最低压力达到临界压力时,引发空化现象后所释放的巨大能量将对水煤浆固液分散体系的细度和流变特性产生重大影响,文中通过试验来研究具体影响过程。

2 试验过程

2.1 样品选择

选择试验煤种属于典型的褐煤,其分析水分 15.60%,挥发分达 48.91%,属于低灰特低硫煤。褐煤样品脆性比较小,易于粉碎,采用万能粉碎机进行粉碎,粉碎后样品通过 0.5 mm 分级。

2.2 原料制备

按照选取水煤浆分散剂药剂用量 HSN 萘

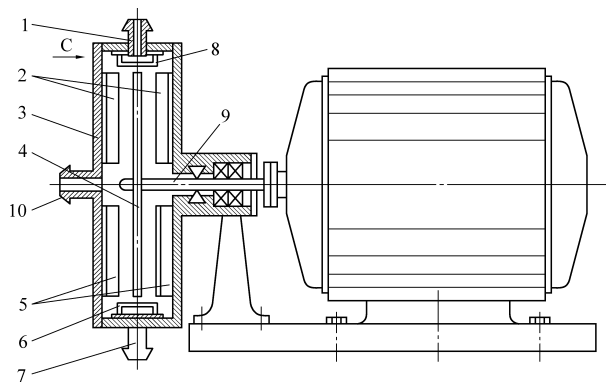
系:HSM 木质素为 1:2,称取定量的药剂,放入磨口瓶中,放入计算好的用水量的 90%,搅拌混合溶解。再讲称取的褐煤样品缓慢放入 1 000 r/min 转速持续搅拌的磨口瓶中,将全部煤样放入搅拌均匀后,加入剩余水,再以 2 850 r/min 转速恒速搅拌 5 min,1 000 r/min 转速恒速搅拌 5 min。测定水煤浆粒度和流变粘度。

2.3 水煤浆性质的测定

水煤浆流变性测定采用旋转粘度仪 NXS-11A 型。水煤浆流变性能的粘度指标一般使用速度梯度为 100S-1 和 30S-1 条件下粘度指标进行衡量。

2.4 制备方法及空化器结构

将常规制浆工艺获取的水煤浆样品装入空化器中,缓慢提高空化器搅拌器转速至预定空化转速,空化时间下,获取空化后水煤浆样品,测定水煤浆流变粘度、粒度,研究空化作用对水煤浆流变特性的影响。



(1.出水管;2.叶片;3.空化器壁;
4.产生空化的叶片;5.导叶;6.出口塞;
7.出水管;8.出口塞;9.空旋转轴;10.液体引入管)

图 1 空化装置结构示意图

3 结果与讨论

3.1 水力空化对水煤浆体粘度的影响

将水煤浆放入空化器进行空化实验时,空化器转子转速从静止缓慢增加,由于水煤浆粘度影响,在转子转速增加过程中间断性出现了较大声响和振动,当转子转速超过 8 000 r/min 后,振动和声响减小,空化器运转平稳,这可能随着空化器转子转速提高,对水煤浆浆体流动性产生了一定影响。

空化初步实验采用空化转速为 10 000 r/min,空化时间为 2 min。实验所测原浆体的流变粘度计算表 1,空化后水煤浆的粘度计算表 2。

表 1 原浆体的粘度计算表

分度	正向 刻度	反向 刻度	剪切速率/ s ⁻¹	K 值	正向粘度/ (mPa·s)	反向粘度/ (mPa·s)
1	3	2	3.178	178.60	535.80	357.20
2	4.5	2.5	4.313	131.60	592.20	329.00
3	5.5	3	5.675	100.00	550.00	300.00
4	7	4	7.378	76.92	538.44	307.68
5	9	5.5	10.220	55.56	500.04	305.58
6	13	8	15.890	35.71	464.23	285.68
7	17	11	21.570	26.32	447.44	289.52
8	21	15	28.380	20.00	420.00	300.00
9	25	19	36.890	15.38	384.50	292.22
10	33	27	51.080	11.11	366.63	299.97
11	39	33	63.560	8.93	348.23	294.66
12	50	45	86.280	6.58	328.95	296.06
13	62	60	113.500	5.00	310.00	300.00
14	78	-	147.600	3.85	299.99	-

表 2 空化后水煤浆的粘度指标计算表

分度	正向 刻度	反向 刻度	剪切速率/ s ⁻¹	K 值	正向粘度/ (mPa·s)	反向粘度/ (mPa·s)
1	32	32	3.178	178.60	5 715.20	5 715.20
2	34	35	4.313	131.60	4 474.40	4 606.00
3	36	38	5.675	100.00	3 600.00	3 800.00
4	37	40	7.378	76.92	2 846.04	3 076.80
5	38	42	10.220	55.56	2 111.28	2 333.52
6	40	43	15.890	35.71	1 428.40	1 535.53
7	42	44	21.570	26.32	1 105.44	1 158.08
8	44	45	28.380	20.00	880.00	900.00
9	46	48	36.890	15.38	707.48	738.24
10	50	49	51.080	11.11	555.50	544.39
11	53	52	63.560	8.93	473.24	464.31
12	58	56	86.280	6.56	381.58	368.42
13	63	63	113.500	5.00	315.00	315.00
14	71	-	147.600	3.85	273.07	-

对比水煤浆空化前后的流变特性曲线,可以发现空化后水煤浆的流变粘度非常稳定,正向旋转的粘度曲线和反向旋转的粘度曲线重合,没有变化。说明空化后水煤浆的粘度特性已由假塑性流体变成了类似牛顿流体。粘度测试过程中,表征旋转扭矩的刻度盘指示数比较稳定,没有出现常规水煤浆测试时数值缓慢下降的现象,而且粘度测试数值重现性十分好,说明浆体流变特性比较稳定。

通过对比空化前后水煤浆的运动粘度指标,速度梯度为 100 s⁻¹时粘度指标由 320 mPa·s 提高到 340 mPa·s,速度梯度为 30 s⁻¹时粘度指标由 420 mPa·s 提高到 850 mPa·s。经过空化后水煤浆运动粘度有了一定提高。

3.2 水力空化对水煤浆粒度的影响

如图 2 所示,为空化前后的粒度分布曲线图。

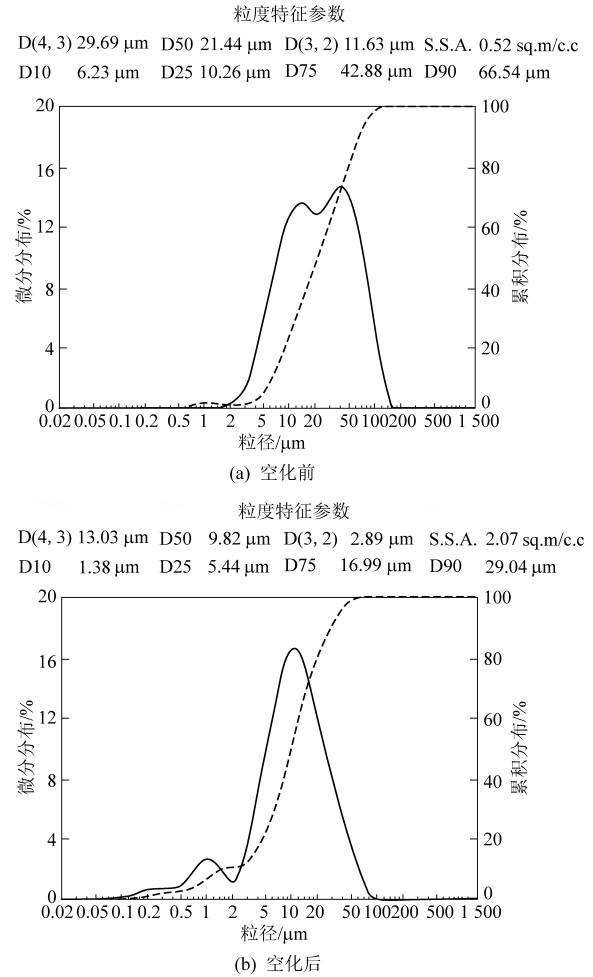


图 2 空化前后褐煤粒度分布曲线

从图 2 可以看出,30 μm 以下的细粒级含量明显高于空化前粒级的含量,主要因为水力空化产生能量的破碎作用,会使细粒级煤粒增加,颗粒分散程度得到改善,褐煤的粒径减小提高了水煤浆成浆时颗粒的空间堆积效率,也有利于提高褐煤水煤浆的成浆浓度。

3.3 水力空化对水煤浆稳定性的影响

褐煤粉碎后,颗粒表面的水化膜和颗粒之间静电力吸附等作用导致水煤浆浆体流动性变差,颗粒群形貌特征表现为长方形或三角形,少量呈现五边形。对煤炭粉碎后分形特征结果表明煤粉多数呈现为片状结构,尤其是小于 30 μm 的微细颗粒。由于棱角分明颗粒的尖端静电力效应,颗粒表面吸附了微细颗粒,而且颗粒之间容易以尖端相互吸附形成链状结构,见图 3。

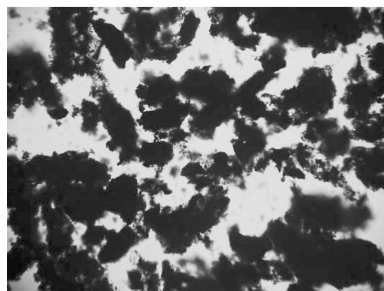
在显微镜下观察空化后的浆体见图 4。

空化后水煤浆放置 1 周后没有出现分层现象。利用显微镜观察水煤浆状态,可以发现放置 1

周后的空化水煤浆中存在着大量不易消散的微细气泡。气泡曲率半径越小,气泡表面张力越大,气泡稳定就越好。气泡在流体中可以长时间存在而不会出现相互兼并破裂现象。通过空化作用在水煤浆浆体中引入了大量的圆形的微细气泡,一方面由于其占位作用而在一定程度上提高了水煤浆粘度和稳定性能,另一方面圆形微细气泡成为水煤浆浆体流动过程中的润滑剂。微细气泡的布朗运动破坏了颗粒之间的静电力吸附,从而使得水煤浆流变性能得到较大的改善。

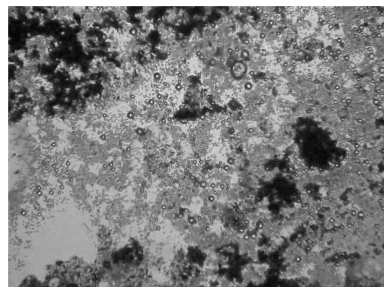


20X

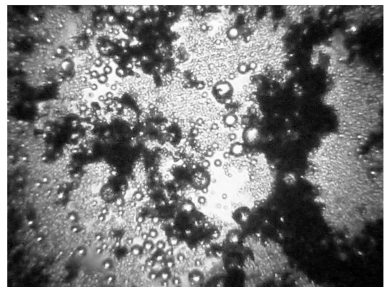


100X

图3 水煤浆的显微形貌特征



40X



100X

图4 空化后水煤浆中存在的微细气泡状态

4 结论

(1)水力空化作用使褐煤水煤浆的流变性能得到较大的改善,其 $30\ \mu\text{m}$ 以下的细粒级含量明显高于空化前粒级的含量。

(2)经空化处理后水煤浆运动粘度有了一定提高,速度梯度为 $100\ \text{s}^{-1}$ 时粘度指标由 $320\ \text{mPa} \cdot \text{s}$ 提高到 $340\ \text{mPa} \cdot \text{s}$,速度梯度为 $30\ \text{s}^{-1}$ 时粘度指标由 $420\ \text{mPa} \cdot \text{s}$ 提高到 $850\ \text{mPa} \cdot \text{s}$,且粘度测试数值重现性十分好,浆体流变特性比较稳定。

(3)空化后水煤浆中引入了大量的微细气泡,一方面由于气泡在水煤浆形成了占位,导致水煤浆颗粒群之间浓度提高,使得水煤浆运动粘度得以提高。另一方面微细气泡的布朗运动破坏了颗粒之间的静电力吸附,从而使得水煤浆流变性能得到较大的改善。

参考文献

- [1] 白向飞. 中国褐煤及低阶烟煤利用与提质技术开发 [J]. 煤质技术, 2010 (6): 9-11.
- [2] 傅雪海, 路露, 葛燕燕, 等. 我国褐煤资源及其物性特征 [J]. 煤炭科学技术, 2012, 40 (10): 104-107.
- [3] 张晓东. 褐煤制水煤浆装置现状及优化运行措施 [J]. 煤化工, 2017, 45 (1): 61-63.
- [4] 陈兴. 基于颗粒表面修饰的高浓度褐煤水煤浆的制备 [D]. 上海: 华东理工大学, 2019: 11-13.
- [5] 柳金秋, 吕向阳, 张胜局, 等. 褐煤改性对其表面特性及成浆性的影响 [J]. 洁净煤技术, 2019, 25 (5): 53-58.
- [6] 吴君宏. 褐煤水热提质改善水煤浆的成浆性、流变性和稳定性的实验研究 [J]. 燃料化学学报, 2019, 47 (3): 271-278.
- [7] 张桂玲, 杜丽伟, 刘焯炜. 提高内蒙古低阶煤气化水煤浆浓度的实验研究 [J]. 洁净煤技术, 2013, 19 (4): 55-58.
- [8] 王昌济. 煤气化水煤浆提浓工艺的研究 [J]. 云南化工, 2018, 45 (12): 46-48.
- [9] 刘明强, 刘建忠, 王睿坤, 等. 热解温度对褐煤半焦成浆特性影响的实验研究 [J]. 中国电机工程学报, 2013, 33 (8): 36-43.
- [10] 李春启. 水热处理制备高浓度褐煤水煤浆技术研究进展及展望 [J]. 洁净煤技术, 2017, 23 (1): 36-41.
- [11] 黄继汤. 空化与空蚀的原理及应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1991: 106-113.
- [12] 陶跃群. 水力空化降解废水中有机污染物的理论与实验研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2018: 9-13.
- [13] 周汝鑫. 文丘里空化处理污泥及污水有机污染物的实验研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2016: 16-18.
- [14] 程效锐, 张舒研, 陈红杏, 等. 空化射流技术的应用进展与前瞻性分析 [J]. 能源化工, 2018, 39 (4): 19-24.
- [15] 李根生, 沈忠厚. 自振空化射流理论与应用 [M]. 山东: 中国石油大学出版社, 2007: 36-37.