

# 煤矿磁化水喷雾降尘机理及试验研究

陈梅岭<sup>1,2</sup>, 宋文超<sup>1</sup>, 蒋仲安<sup>1</sup>, 王明<sup>1</sup>, 谭聪<sup>1</sup>

(1. 北京科技大学 教育部金属矿山高效开采与安全重点实验室 北京 100083;

2. 中国五矿集团公司 安徽开发矿业有限公司 安徽 六安 237400)

**摘要:**为了探究磁化水喷雾对采掘工作面粉尘的降尘效果,通过试验测定了新型磁水器磁化处理后水的表面张力、动力黏度以及对粉尘的润湿性,并建立了掘进巷道相似模型,研究了不同参数下磁化水的降尘效果。结果表明:磁化处理后水的表面张力、动力黏度均有所降低,磁水器距离出水口越近,磁化水的表面张力和动力黏度降低越大,磁化效果越好;磁化水对粉尘的润湿性优于非磁化水,降尘率较非磁化水也有较大程度提高,试验结果表明,磁感应强度 170 mT、水压 2 MPa 条件为磁化水降尘的最佳条件,其降尘率比非磁化水提高了 16.36%。

**关键词:**磁化水喷雾;表面张力;润湿性;降尘率

中图分类号:TD714

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2014)07-0065-04

## Study on Dust Fall Mechanism and Experiment with Magnetized Water Spraying in Coal Mine

CHEN Mei-ling<sup>1,2</sup>, SONG Wen-chao<sup>1</sup>, JIANG Zhong-an<sup>1</sup>, WANG Ming<sup>1</sup>, TAN Cong<sup>1</sup>

(1. MOE Key Lab of High Efficient Mining and Safety for Metal Mine, University of Science and Technology

Beijing Beijing 100083, China; 2. Anhui Development and Mining Company Limited, China Minmetals Corporation Lu'an 237400, China)

**Abstract:** In order to study the dust fall effect of magnetized water spraying on the fine dusts in the coal mining face and the gateway driving face, an experiment was applied to measure the surface tension and dynamic viscosity of the water after magnetized treated by the new type water magnetizer and the wettability of the fine dust, and a similar model of the driving gateway was established. The dust fall effect of the magnetized water under different parameters was studied. The results showed that the surface tension and dynamic viscosity of the water after the magnetized treatment were all reduced. More close distance of the water magnetizer to the water outlet, the higher surface tension and the dynamic viscosity of the magnetized water would be reduced and the higher magnetized effect would be. The wettability of the fine dust with the magnetized water would be better than the non-magnetized water and the dust fall rate could also improve than the non-magnetized water. Experiment results showed that the conditions of magnetic induction strength 170 mT and water pressure 2 MPa would be the optimized condition for dust fall with the magnetized water and the dust fall rate improved by 16.36% than non-magnetized water.

**Key words:** magnetized water spraying; surface tension; wettability; dust fall rate

## 0 引言

随着经济的发展、煤矿采掘机械化程度的不断提高,煤矿井下各生产过程的粉尘产生量急剧增大,严重影响着煤矿的生产安全和井下工人的身体健康<sup>[1]</sup>。磁化水喷雾降尘是一种新型高效防降尘技

术,主要原理是水以一定的流速通过磁场时,由于切割磁力线而使水的性质发生变化<sup>[2-3]</sup>,其中与降尘机理有关的主要有表面张力、黏度及对粉尘的润湿性等<sup>[4-9]</sup>。近十年关于磁化水喷雾除尘的研究较少,而关于磁化水的性能虽有报道,但最终降尘差距较大<sup>[10-16]</sup>。新型磁水器的磁化及降尘效果有待研

收稿日期:2014-01-06;责任编辑:王晓珍 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2014.07.017

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51274024)

作者简介:陈梅岭(1965—),男,河北馆陶人,教授级高级工程师,博士研究生,现任中国五矿集团公司安徽开发矿业有限公司总经理。通信作者:

宋文超, Tel:18811349129, E-mail:106133539@qq.com

引用格式:陈梅岭,宋文超,蒋仲安,等.煤矿磁化水喷雾降尘机理及试验研究[J].煤炭科学技术,2014,42(7):65-68,87.

CHEN Mei-ling, SONG Wen-chao, JIANG Zhong-an et al. Study on Dust Fall Mechanism and Experiment with Magnetized Water Spraying in Coal Mine[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(7):65-68, 87.

究。因此,笔者开展了新型磁水器磁化水表面张力、黏度、润湿性及喷雾降尘效果的试验研究,研究结果对于确定磁化水喷雾降尘的机理及最佳条件具有重要意义。

## 1 试验装置选择及参数确定

### 1.1 试验装置及原理

试验选取管外夹式强磁水器作为磁化水的制备装置。它采用“单极设计”(N 极采用导磁板屏蔽),磁力线分布更加集中,通过 S-S 极磁路设计,产生互斥的磁感应线分布,与 N-S 极磁路相比,有 2 个磁感应线较为集中的区域,如图 1 所示。在水流过管道的过程中,对水的磁化效果更佳。

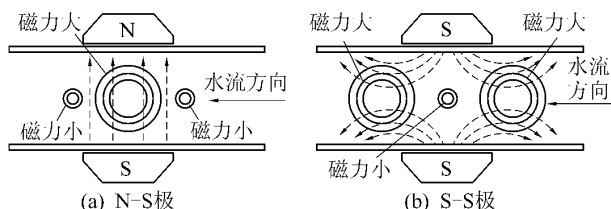


图 1 N-S 极与 S-S 极磁水器磁感应线分布

磁水器放置处管道均为 304 材质不锈钢,因采用不锈钢或塑料管可使管内磁场强度提高 1 倍以上,使用效果明显提高。采用铂金板法测定表面张力。因常温下(20℃)水的动力黏度较小,约为  $1 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ ,故黏度的测定以去离子水为标准液体,利用乌氏黏度计进行测量。通过磁化喷雾前后粉尘采样仪中滤膜质量的增加量来确定降尘率。

### 1.2 试验材料及处理

选取自来水及磁化处理后的水样作为试验材料,为排除自来水中所含气体杂质及温度等对水的表面张力的影响,将刚从水龙头流出的自来水在洁净贮水桶中敞开放置 24 h,待水样性质稳定后再进行试验。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 磁化处理对水的表面张力的影响规律

喷雾降尘过程中需将水分散成雾滴,该过程必须克服表面张力对体系做功,由此可见,液体的表面张力越低,喷雾时所需克服的表面功越小,水滴越容易被破碎,导致喷出的液滴越小,捕尘效果越好。因此,改变水的表面张力是改变煤体润湿性、提高喷雾降尘效果的关键因素。

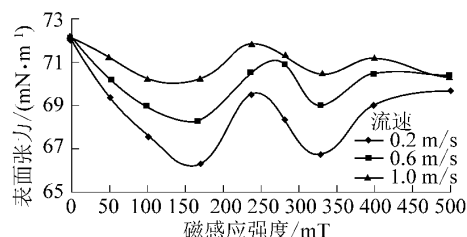
1) 将磁水器扣置在距离喷嘴最近的注水管上,

此时默认为磁水器至出水口距离为 0。

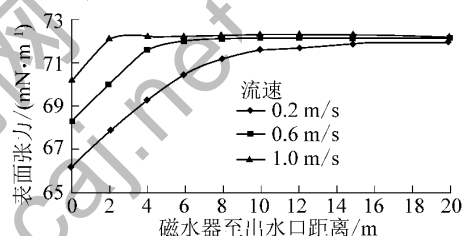
2) 启动水泵,固定水流速度为  $1 \text{ m/s}$ 。

3) 分别控制磁水器的磁感应强度为 0、50、100、170、240、282、330、400、500 mT,测定表面张力,在每个磁感应强度处重复测量 5 次表面张力,然后取其平均值作为该条件下水的表面张力。

4) 调节水流速度为 0.6、0.2 m/s,分别重复上述步骤,测定不同流速下水的表面张力(图 2a)。



(a) 水的表面张力与磁感应强度的关系



(b) 水的表面张力与磁水器位置的关系

图 2 水的表面张力与磁感应强度、磁水器位置的关系

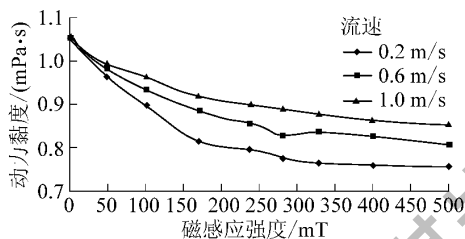
由图 2a 可以看出,不同流速下,自来水经磁水器磁化后表面张力均比磁化前有所降低,但表面张力的大小与磁感应强度之间并非呈线性关系,而是一种多极值增减变化关系。在磁感应强度为 0 ~ 170 mT 时水的表面张力急剧下降,在 170 mT 达到最低值,而后随着磁感应强度的增加,表面张力增大;240 ~ 330 mT,表面张力再次呈现先下降后增大趋势;400 ~ 500 mT 趋于稳定,变化量较小。随着流速的减小,其表面张力降低幅度增大,由流速  $1.0 \text{ m/s}$  时的表面张力降低幅度 2.63% 增大至  $0.2 \text{ m/s}$  时的 8.11%,这说明流速减小,磁化时间延长,磁化效果增强。调节磁水器至出水口距离为 2、4、6、8、10、12、15、20 m,取磁感应强度为 170 mT,流速为 0.2、0.6、1.0 m/s 时进行研究,确定磁水器位置与水的表面张力的关系,如图 2b 所示。

从图 2b 可以看出,磁水器距离出水口较近时,随着磁水器至出水口距离的增大,即磁化水磁化后在管道中流动时间的延长,水的表面张力基本呈直线上升趋势,且随流速的增大曲线的斜率变大。 $0.2 \text{ m/s}$  流速处理下的磁化水在磁水器距出水口 10 m 时,表面张力基本不再变化,并大致与图 2a 所示的

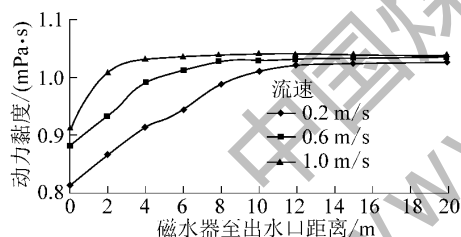
磁化前水的表面张力相等;0.6 m/s 流速处理下的磁化水在磁水器距出水口 5 m 时,表面张力基本与磁化前相等;对于 1 m/s 流速处理下,该距离仅为 2 m,由此可见,磁化水在流动状态下的保持时间较短,且流速越大,这种状态保持的时间越短。

## 2.2 磁化处理对水的黏度的影响规律

黏度对喷雾效果的影响主要体现在雾化液滴的尺寸分布上。液体黏度的减小将使雷诺数增大,加速湍流的发展,促使喷雾圆射流或液膜射流的碎裂,使雾化液滴的尺寸减小,且雾化效果有所提高,雾粒分布均匀。细小的水雾粒子可显著增加雾粒的总表面积,大幅增加与粉尘接触的概率,捕尘效果更好。重复表面张力测试的试验步骤,即测量并计算不同流速、不同磁感应强度处理下水的动力黏度,每个值重复测量 5 次,然后取不同流速、不同磁感应强度下水的动力黏度的平均值进行计算,如图 3a 所示。



(a) 水的动力黏度与磁感应强度的关系



(b) 水的动力黏度与磁水器位置的关系

图 3 水的动力黏度与磁感应强度、磁水器位置的关系

由图 3a 可知,在不同流速下,水的动力黏度随磁感应强度的增大而减小,在磁感应强度为 0~170 mT 时,水的动力黏度基本呈直线下降趋势,随着磁感应强度的持续增大,下降趋势渐缓;磁感应强度大于 400 mT 时,水的动力黏度基本不变,说明磁化对水的动力黏度影响趋于饱和。流速对于磁化水的动力黏度的影响表现在流速越大,磁化水的动力黏度降低幅度越小,流速 0.2 m/s 时,磁化水的动力黏度最大降低了 27.84%;流速 0.6 m/s 时,最大降低了 22.97%,而流速增大到 1.0 m/s 时,动力黏度仅降低了 18.69%,与表面张力随流速的变化趋势相仿,再次说明了随着流速的减小,水磁化处理时间的延长,磁化效果增强。

调节磁水器至出水口距离,取磁感应强度为 170 mT,流速为 0.2、0.6、1.0 m/s 时进行研究,确定磁水器位置与水的动力黏度关系,如图 3b 所示。

水的动力黏度随磁水器至出水口距离的增大而增大,且流速不同时上升速率不同。当水的流速为 0.2 m/s,磁化水在磁水器距出水口 12 m 时,其动力黏度基本与磁化前相等;流速为 0.6 m/s,磁化水在磁水器距出水口 8 m 时,黏度基本与磁化前相等;而流速为 1 m/s 时,磁水器距出水口 4 m,再次证实了磁化水在流动状态下的保持时间较短,且流速越大,这种状态保持的时间越短。综合磁化水的表面张力和动力黏度的变化,磁水器的最佳安装位置应该在邻近喷嘴处。

## 2.3 磁化处理水对粉尘润湿性的影响规律

湿式除尘主要是靠液滴对粉尘的捕集沉降作用进行降尘,水对粉尘的润湿性越好,捕捉到粉尘的速度就越快,粉尘凝聚沉降的时间也就越短,除尘的效果越好。试验采用固定润湿时间,通过毛细管中粉尘的吸湿量比较磁化水与非磁化水对粉尘的润湿性能,试验装置如图 4 所示。磁化水的制备条件:①磁水器距喷嘴垂直距离为 0;②水流速度为 0.2 m/s;③磁感应强度分别为 0、50、100、170、240、282、330、400、500 mT。试验粉尘采用吸湿性较好的粉砂岩粉、200 mm 标准筛处理,而后烘干,称取 10 g 装入用定量滤纸封住管口的毛细管中,倒置试管并将岩粉振实、称重,然后置于水中,每隔 10 min 取出试管称重,计算溶液的吸湿量,如图 5 所示。

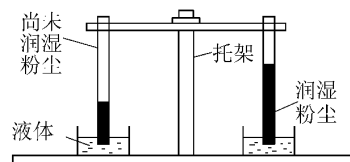


图 4 考察水对岩粉润湿性的试验装置

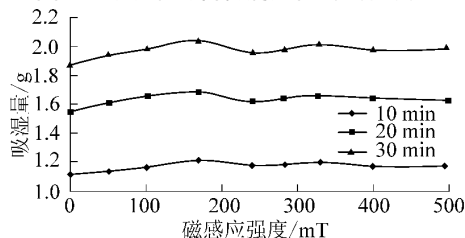


图 5 吸湿量与磁感应强度的关系

由图 5 可知,岩粉在磁化水及非磁化水中的吸湿量随着时间的延长而增加,不同磁感应强度处理的磁化水对岩粉的吸湿量不同,这说明不同强度处理下的磁化水对岩粉的润湿性不同,磁感应强度

170 mT 处理的磁化水岩粉的吸湿量最大,即对岩粉的润湿性最好,磁感应强度较小时磁化水对岩粉的润湿性较差;岩粉的吸湿量与水的表面张力近似呈反比例关系,这也说明了水的表面张力是影响水对粉尘润湿性的一个重要因素。

### 3 磁化水喷雾降尘试验效果

在掘进巷道相似模型中进行喷雾降尘试验(图6),利用同煤国电集团同忻矿破碎煤粉作为试验粉尘对非磁化水和磁化水的喷雾降尘效果进行对比试验。模拟巷道内的风速控制在 0.25 m/s,测尘采样流量为 0.92 m<sup>3</sup>/h,考虑到同一管径条件下,水压变化主要影响水的流速变化,即影响磁化时间,并参照实际矿山井下喷雾水压,试验水压选取为 1、2、3 MPa,采样时间为 1 min,喷嘴为普通扇形喷嘴,试验温度为 20 ℃。分析磁化水的表面张力、黏度及润湿性的试验结果,优选出下列试验条件:磁感应强度 0、170、240、330、500 mT,磁水器距出水口垂直距离为 0。磁化水喷雾除尘试验结果见表 1。

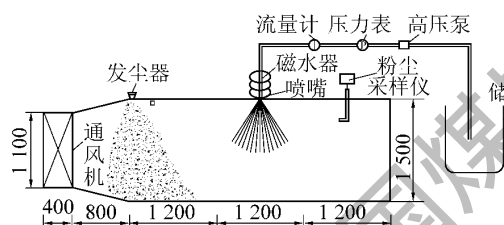


图6 喷雾降尘试验装置

表1 磁化水喷雾降尘试验结果

水压/MPa	喷雾状态	磁感应强度/mT	粉尘浓度/(mg·m <sup>-3</sup> )	降尘率/%
1	无喷雾		236.09	
	喷雾	0	112.17	52.49
	喷雾	170	105.00	56.08
	喷雾	240	108.91	53.87
	喷雾	330	106.96	54.70
	喷雾	500	106.30	54.97
2	无喷雾		246.52	
	喷雾	0	103.04	58.20
	喷雾	170	76.57	67.72
	喷雾	240	91.96	62.69
	喷雾	330	88.04	64.28
	喷雾	500	89.35	63.76
3	无喷雾		252.39	
	喷雾	0	74.35	70.54
	喷雾	170	58.04	77.00
	喷雾	240	61.96	75.45
	喷雾	330	60.00	76.22
	喷雾	500	61.30	75.71

从表1可以看出,磁化水较非磁化水,其降尘率有较大提高。水压1 MPa条件下,非磁化水的降尘率为52.49%,在水压2 MPa时,降尘率提高到58.20%,水压3 MPa时可提高到70.54%,由此可见,喷雾压力的提高在一定程度上可提高降尘率;不同磁感应强度处理条件下的磁化水,其降尘率均比非磁化水有不同程度的提高,其中,磁感应强度170 mT下的磁化水降尘效果最好,1 MPa时相对降尘率为6.84%,水压2 MPa时相对降尘率提高到16.36%,水压3 MPa时相对降尘率为9.16%,可见,磁化水的降尘效果并不是喷雾压力越大越好,喷雾压力的增大,导致磁化水的水流速度加快,水被磁化的时间缩短,磁化效果减弱;喷雾压力过大时,压力对磁化水降尘效果的影响程度超过磁感应强度对其的影响程度。

### 4 结 论

1) 磁化处理能够降低水的表面张力,磁感应强度在0~170 mT和240~330 mT内其表面张力呈减小趋势,且流速越大,磁水器距离出水口的位置越远,水的表面张力降幅越小。

2) 磁化处理对水动力黏度有降低的作用,且存在磁饱和现象,当磁感应强度大于400 mT时,水动力黏度下降缓慢并趋于不变;流速及磁水器位置对水动力黏度的影响类似于表面张力,即速度越大,磁水器距离出水口位置越远,水动力黏度降低值越小。

3) 磁化水对粉尘的润湿性较非磁化水有所提高,且随磁感应强度的不同,其对粉尘的润湿性能不同,170 mT磁感应强度的处理条件下磁化水对粉尘的润湿性最好;粉尘的吸湿量与水的表面张力的的大小近似呈反比例关系。

4) 不同磁感应强度处理条件下的磁化水较非磁化水,其降尘率均有不同程度的提高,这主要是通过降低水的表面张力、动力黏度及提高粉尘的润湿性能实现的。其中,170 mT磁感应强度、2 MPa水压为磁化水降尘的量佳条件,其降尘率比非磁化水提高了16.36%,且压力过大时,磁化水的相对降尘率降低,即存在最佳压力。

5) 将磁化水应用于矿山井下的特殊环境条件下,应将磁水器安装在靠近喷嘴处,尽量缩短磁化水在管道中的流动时间,并控制喷雾水压在2 MPa左右,以保证其有效性。

(下转第87页)

可看出,主、从电动机的速度能很好地保持一致,主从电动机的定子电流也基本相等,从而反映了2台电动机的输出功率基本相等,达到了功率平衡控制。

表1 主、从电动机部分运行参数

主电动机转速/ ( $r \cdot \min^{-1}$ )	从电动机转速/ ( $r \cdot \min^{-1}$ )	主电动机电 流/A	从电动机电 流/A
1 384.1	1 385.2	127.7	131.3
1 383.3	1 382.9	125.5	125.5
1 361.2	1 365.5	132.5	136.4
1 378.0	1 376.5	129.2	131.1
1 388.6	1 383.5	133.1	131.6

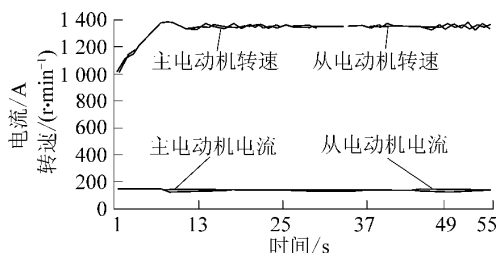


图6 主、从电动机运行参数波形

## 5 结 语

针对矿用带式输送机功率平衡的问题,采用变频驱动的方式。从负荷分配的角度出发,提出了一种基于转矩给定分配的主、从电动机控制方式,即主电动机采用转速、磁链双闭环的直接转矩控制,而从电动机的转矩给定值由主电动机提供。通过仿真分析和现场试验,验证了笔者所提出的控制方式可以是主、从电动机在跟随转速的同时保持输出转矩的平衡性,在调速或者负载改变时主、从电动机能很

好地保持转矩分配比,即实现了功率平衡控制,为带式输送机的控制方法和实际应用提供了有效参考。

## 参考文献:

- [1] 韩东劲,梁平,蒋卫良.带式输送机差动液黏调速器多机功率平衡的研究[J].煤炭学报,2006,31(6):829-832.
- [2] 郭建军,郭建廷.带式输送机多机拖动功率平衡问题的探讨[J].煤炭科学技术,2008,36(1):88-91.
- [3] Hans Lauhoff,宋伟刚.带式输送机的速度控制与节能[J].煤炭科学技术,2009,37(5):75-82.
- [4] 周小丹,曹家勇,陆海峰.1140V矢量控制变频器在带式输送机中的应用[J].煤炭科学技术,2009,37(5):99-102.
- [5] 汝长青.基于DTC的大倾角带式输送机控制系统设计[J].煤炭科学技术,2010,38(9):91-93.
- [6] 张庚云,刘伟,王腾.大功率刮板输送机软启动过程仿真研究[J].煤炭科学技术,2013,41(4):71-74.
- [7] 林森,苏峥,王晓兵,等.煤矿带式输送机软启动装置比较分析[J].煤炭科学技术,2013,41(S1):290-292.
- [8] 徐鲁辉,李福东,张超,等.多机驱动带式输送机功率平衡的研究与分析[J].工矿自动化,2011(5):63-66.
- [9] 王坤,包继华,吴艳.变频在带式输送机多点驱动功率平衡的研究[J].煤矿机械,2010,31(6):66-68.
- [10] 赵永秀,李忠,赵峻岭.煤矿双滚筒驱动带式输送机的电动机功率平衡[J].西安科技大学学报,2010,30(6):738-743.
- [11] 王中华,陈勋,杨光辉.煤矿井下输送机多电动机功率平衡研究[J].煤矿机械,2013,34(8):61-64.
- [12] 余发山,韩超超,田西方,等.带式输送机多机变频驱动功率平衡控制研究[J].工矿自动化,2013(3):69-73.
- [13] 满咏梅.带式输送机多电机驱动功率平衡问题探讨[J].煤矿机电,2009(6):35-37.
- [14] 孙伟,王慧,杨海群.带式输送机变频调速节能控制系统研究[J].工矿自动化,2013(4):98-101.

(上接第68页)

## 参考文献:

- [1] 赵振洋,张浩,周松.对煤矿井下化学物理除尘机理的分析[J].科技致富向导,2012(15):80.
- [2] 杨胜强.粉尘防治理论及技术[M].徐州:中国矿业大学出版社,2007.
- [3] 马中飞.工业通风与除尘[M].北京:化学工业出版社,2007.
- [4] 刘艳华.磁化水除尘的机理探讨[J].陕西煤炭科技,1990(1):46-50.
- [5] 颜士华,夏孝明,赵正均.对磁化水喷雾降尘机理的认识[J].煤炭工程师,1997,24(2):28-31.
- [6] 刘开维.磁化水与清水降尘的比较实验[J].煤矿安全,1997,28(11):5-7.
- [7] 赵志强.磁化水灭尘的研究[J].工业安全与防尘,2000,12(7):44-45.

- [8] 蒋裕平.磁化水除尘的研究[J].科学技术与工程,2004,4(6):494-498.
- [9] 许冬花.自吸喷雾磁化降尘研究[D].镇江:江苏大学,2010.
- [10] 刘芳玲,蒋佩琳.磁场处理条件与水的表面张力关系的研究[J].四川师范大学学报:自然科学版,1997,20(5):127-131.
- [11] 杨明,刘伟,徐革联.磁化对水的性质影响的研究[J].化工时刊,2007,21(6):14-17.
- [12] 李真.磁化处理对液-液相平衡的影响[D].天津:天津大学,2007.
- [13] 邓波,庞晓峰.静磁场作用下水的性质改变[J].电子科技大学学报,2008,37(6):959-962.
- [14] 蔡丽娜,李凯琦,李建欣,等.磁化水特性及其在非金属矿加工中的应用[J].矿冶,2009,18(2):64-66.
- [15] 王一新.磁化水混凝土抗渗特性试验研究[D].焦作:河南理工大学,2009.
- [16] 聂百胜,丁翠,李祥春.磁场对矿井水表面张力影响规律的研究[J].中国矿业大学学报,2013,42(1):19-23.