

臭氧技术对露天煤矿疏干水中大肠杆菌的 杀灭效果研究

李宏堂¹, 吴明福¹, 郭旭颖²

¹陕西神延煤炭有限责任公司, 陕西 榆林

²辽宁工程技术大学理学院, 辽宁 阜新

收稿日期: 2021年10月9日; 录用日期: 2021年11月10日; 发布日期: 2021年11月17日

摘要

露天煤矿的疏干水的再生利用引起了广泛关注, 但其微生物安全性研究较少, 本文考察了臭氧消毒技术对某露天煤矿疏干水中大肠杆菌的灭菌效果。研究表明: 臭氧发生量为8 g/h, 反应时间4 min的条件下, 可以实现100%的大肠杆菌杀灭率。在水温为5℃、18℃和28℃和pH为6、7、8、9条件下, 臭氧消毒对大肠杆菌的杀灭率均可保持在100%, 实现了不同季节煤矿中性疏干水的高效灭菌。

关键词

煤矿疏干水, 大肠杆菌, 臭氧, 消毒

Study on the Sterilization Effect of Ozone Technology on *Escherichia coli* in the Drainage Water of Opencast Mine

Hongtang Li¹, Mingfu Wu¹, Xuying Guo²

¹Shaanxi Shenyang Coal Co., Ltd., Yulin Shaanxi

²School of Sciences, Liaoning Technical University, Fuxin Liaoning

Received: Oct. 9th, 2021; accepted: Nov. 10th, 2021; published: Nov. 17th, 2021

Abstract

Recycling of drainage water from opencast mine s has attracted wide attention. However, there are few studies on its microbiological safety. This paper investigated the sterilization effect of

ozone technology on *Escherichia coli* in the drainage water of an opencast mine. The results showed that the sterilization rate of *Escherichia coli* can achieve 100% under the conditions of 8 g/h ozone generation and 4 min reaction time. The sterilization rate of *Escherichia coli* by ozone technology can be kept at 100% at water temperature of 5°C, 18°C and 28°C and pH of 6, 7, 8, 9 conditions. The high efficiency sterilization of neutral drainage water in different seasons is realized.

Keywords

Drainage Water of Opencast Mine, *Escherichia coli*, Ozone, Sterilization

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

露天煤矿疏干水的再生利用是解决煤矿开采水害问题和实现企业水循环利用的有效途径之一[1]。疏干水是指在煤炭开采过程中从煤层涌出的污水[2]，目前煤矿疏干水通常经过处理后达标排放，如能转变思路，视中水为一种稳定、具有潜在利用价值的可再生资源[3]，引入“污水精炼技术”这一先进理念，转变现有基于污染物分解和去除的污水处理模式，通过精细化筛分和高效增值转化，能实现污水资源的安全和高效利用[4] [5]。

疏干水经过再生处理后可以回用于企业的生产、生活杂用、复垦灌溉或养殖业等各方面[6]。国家根据再生水用途不同分别制定了相应的标准[7] [8] [9] [10]，其中包括卫生学指标，即对致病微生物提出限值要求。因此露天煤矿疏干水的再生利用必须要设计消毒工艺，以保障再生水的卫生安全。

目前国内广泛使用的氯消毒效果好、成本低，但氯消毒会产生卤代消毒副产物，给生态系统带来负面影响[11]。因此需要一种具有广谱杀菌能力、副产物少且生态友好的消毒工艺。臭氧是一种强氧化剂，其消毒灭菌效果优于氯化消毒，其灭菌速度比氯消毒快 1000 倍左右[12]，能够杀灭细菌和病毒，副产物少，还能有效去除水中有机污染物、色度、臭和味[13] [14]，臭氧消毒是一种高效、环境友好的消毒工艺，但在煤矿疏干水的再生利用中应用不多。

本文考察了某露天矿疏干水经过混凝过滤处理工艺的中水及臭氧消毒对大肠杆菌的去除效果，为矿区中水臭氧消毒技术的应用奠定基础。

2. 实验材料与方法

2.1. 实验方法

实验水样取自某露天矿疏干水和疏干水经过混凝过滤等工艺处理后的中水。实验采用序批式运行模式，每一批次水样体积为 2 L，选用 SY-100 型臭氧消毒装置，臭氧发生量为 8 g/h，原水样和经过消毒后的水样直接进行大肠杆菌检测。

为了控制煤矿再生水臭氧消毒的成本，要找到最优反应时间，即在最短的时间内实现最好的消毒效果。对水样进行臭氧消毒处理，反应时间分别为 1 min、2 min、3 min、4 min 和 5 min。对消毒之后的水样进行滤膜过滤，用镊子将滤膜转移至固体培养基上进行培养，以此探究最优消毒反应时间。

本研究中的某露天矿所在地区季节温差较大,为了保证不同季节臭氧消毒效果,研究不同水温条件下的臭氧粪链球菌杀灭率是必须的。在最优反应时间条件下,模拟在 5℃、18℃和 28℃时对水样进行消毒处理以此模拟冬夏季水温对消毒效果的影响。

本研究涉及的某露天煤矿疏干水和中水的 pH 在 6.9~7.2 范围内,为了研究水样不同 pH 值是否对臭氧消毒效果产生负面效应,在最优反应时间条件下,调节水样 PH 值为 6、7、8 和 9,对水样进行消毒以此探究 pH 对消毒效果的影响。

大肠菌群检测[15]:

将培养基 200 ml 加热溶解,进行高压灭菌处理,并对实验中所用到的滤膜、镊子、培养皿、过滤器等实验器材进行灭菌处理。对灭菌后的培养基进行冷却,在 50℃时分别加入配套试剂并倒入培养皿中让其凝固备用。

用灭菌镊子夹取灭菌滤膜边缘部分,将粗糙面向上,贴放在已灭菌的滤床上,固定好滤器,将 100 mL 水样(如水样含菌数较多,可减少过滤水样量,或将水样稀释)注入滤器中,打开滤器阀门,在 -5.07×10^4 Pa (负 0.5 大气压)下抽滤。水样滤完后,再抽气约 5 s,关上滤器阀门,取下滤器,用灭菌镊子夹取滤膜边缘部分,移放在品红亚硫酸钠培养基上,滤膜截留细菌面向上,滤膜应与培养基完全贴紧,两者间不得留有气泡,然后将平皿倒置,放入 $36^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 恒温箱内培养 24 ± 2 h。

2.2. 实验仪器

FA2104N 型电子分析天平、GZX-9140MBE 型手提式压力蒸汽灭菌锅、100 级超净工作台、DL-1 型万用电炉、雷磁 PHSJ-5 型 pH 计、细菌恒温培养箱。

2.3. 药品

品红亚硫酸钠培养基,革兰氏染色液。

3. 结果与讨论

3.1. 不同反应时间对大肠杆菌臭氧杀灭率的影响

研究了臭氧消毒不同反应时间对实验水体中大肠杆菌杀灭情况。保持实验系统臭氧发生量为 8 g/h,分别在保持反应时间为 1 min、2 min、3 min、4 min 和 5 min,所得实验结果如下:

Table 1. Experimental results of different reaction times

表 1. 不同反应时间实验结果

反应时间(min)	大肠杆菌含量(cfu/mL)
0	420
1	5
2	2
3	1
4	0
5	0

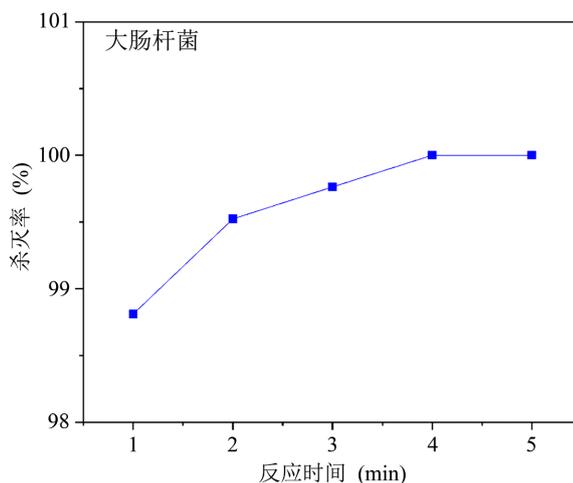


Figure 1. Effect of reaction time on bactericidal rate

图 1. 反应时间对杀灭率的影响

由实验结果(表 1 和图 1)可以看出, 露天矿疏干水经过混凝和过滤后, 中水中大肠杆菌含量为 420 cfu/mL。根据国标《无公害食品畜禽饮用水水质》(NY 5027-2008)中畜禽饮用水水质安全指标的要求, 大肠菌群超标。中水在臭氧消毒过程中, 大肠杆菌含量随反应时间的延长而下降, 在反应时间为 1 min 期间尤为明显, 说明在此期间为氧自由基与细菌反应的活跃期。活性氧自由基能与大肠杆菌在短时间内反应, 在反应时间为 1 min 时, 大肠杆菌含量从 420 cfu/mL 降低至 5 cfu/mL, 杀灭率达到 98.8%, 反应时间为 4 min 时, 大肠杆菌杀灭率达到 100%, 水样中细菌全部杀灭。由于活性氧自由基具有极强的氧化性和杀菌能力, 因此可以在极短的时间内与水中的大肠杆菌发生反应, 极大的缩短了反应时间。

3.2. 不同 pH 对大肠杆菌臭氧杀灭率的影响

煤矿疏干水 pH 值与煤的存在状态、煤含硫量、涌水量和涌水流经岩层等因素密切相关, 本研究中的某露天煤矿疏干水和中水的 pH 在 6.9~7.2 范围内, 属于中性范围, 因此本研究在中性 pH 范围内展开实验水体灭菌实验, 考察水体 pH 对灭菌效果的影响。保持实验系统臭氧发生量为 8 g/h, 反应时间为 4 min, 所得实验结果如下:

Table 2. Experimental results of different pH

表 2. 不同 pH 实验结果

pH	大肠杆菌含量(cfu/mL)	杀灭率%
6	0	100
7	0	100
8	0	100
9	0	100

从实验结果(表 2)来看, 在实验水体 pH 分别为 6、7、8、9 时, 保持反应时间为 4 min, 大肠杆菌的杀灭率均达到 100%。即在 pH 为 6~9 的中性范围内, 臭氧消毒在对某煤矿中水的灭菌效果不受 pH 变化的影响, 高效实现细菌灭活。

3.3. 不同水温对大肠杆菌臭氧杀灭率的影响

某露天煤矿所在地区四季分明, 露天矿疏干水和中水水温受季节影响变化较大, 因此本部分研究考察不同水温对细菌杀灭率的影响。保持实验系统臭氧发生量为 8 g/h, 反应时间为 4min, 分别考察水温分别为 5℃、18℃和 28℃条件下细菌杀灭率的变化, 研究结果如下:

Table 3. Experimental results of different water temperature

表 3. 不同水温下的实验结果

水温/℃	大肠杆菌含量(cfu/mL)	杀灭率/%
5	0	100
18	0	100
28	0	100

分析实验结果(表 3), 在水温分别是 5℃、18℃和 28℃条件下, 保持反应时间为 4 min, 大肠杆菌杀灭率均达到 100%。实验表明臭氧消毒设备在对露天矿中水的灭菌效果不受水温变化的影响, 能够适应露天矿所在地区的季节变化。

4. 结论

臭氧消毒技术应用于某露天煤矿疏干水的灭菌, 疏干水经过混凝和过滤后, 大肠杆菌含量为 420 cfu/mL。中水经过臭氧消毒后, 大肠杆菌杀灭率可达 100%, 最佳实验条件为: 臭氧发生量为 8 g/h, 反应时间 4 min。对水温在 5℃、18℃和 28℃条件下, 和 pH 为 6、7、8、9 条件下, 臭氧消毒对大肠杆菌的杀灭率均可保持在 100%。说明臭氧消毒能够高效实现露天矿疏干水和中水的消毒, 保证其微生物安全性。

参考文献

- [1] 盛守福. 贺斯格乌拉露天煤矿水处理工程设计[J]. 露天采矿技术, 2013(1): 24-25.
- [2] 马树升, 赵星明. 煤矿疏干水处理利用[J]. 中国给水排水, 1998(5): 37-38.
- [3] Masindi, V., Osman, M.S. and Shingwenyana, R. (2019) Valorization of Acid Mine Drainage (AMD): A Simplified Approach to Reclaim Drinking Water and Synthesize Valuable Minerals—Pilot Study. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7, Article ID: 103082. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103082>
- [4] 胡洪营, 吴光学, 吴乾元, 等. 面向污水资源极尽利用的污水精炼技术与模式探讨[J]. 环境工程技术学报, 2015, 5(1): 1-6.
- [5] 胡洪营, 石磊, 许春华, 等. 区域水资源介循环利用模式: 概念·结构·特征[J]. 环境科学研究, 2015(6): 4-12.
- [6] 贾桢桢, 李东阳. 露天煤矿疏干水复用水处理工艺研究[J]. 露天采矿技术, 2012(3): 42-43.
- [7] GB/T 19923-2005, 城市污水再利用工业用水水质[S]. 2005.
- [8] GB/T 18920-2002, 城市污水再生利用+城市杂用水水质[S]. 2002.
- [9] GB 5084-2005, 农田灌溉用水标准[S]. 2005.
- [10] NY5027-2008, 无公害食品畜禽饮用水水质[S]. 2008.
- [11] 蒋以元, 柯真山, 张昱, 等. 城市污水再生利用中的消毒问题研究[J]. 环境工程学报, 2008, 2(1): 16-18.
- [12] 侯为国. 臭氧技术应用研究[J]. 医药工程设计杂志, 2000, 21(6): 255-257.
- [13] Facile, N., Barbeau, B., Prévost, M., et al. (2000) Evaluating Bacterial Aerobic Spores as a Surrogate for Giardia and Cryptosporidium Inactivation by Ozone. *Water Research*, 34, 3238-3246.

[https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00086-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00086-5)

- [14] Ferguson, D.W., Mcguire, M.J., Koch, B., *et al.* (1990) Comparing PEROXONE and Ozone for Controlling Taste and Odor Compounds, Disinfection By-Products, and Microorganisms. *Journal—American Water Works Association*, **82**, 181-191. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1990.tb06950.x>
- [15] 许金榜. 《食品安全国家标准饮用天然矿泉水检验方法》(GB 8538-2016)中微生物学部分存在的问题与改进建议[J]. 饮料工业, 2020, 23(3): 38-41.