

# 载银烧结炭滤芯净化野外地表水效果评价

刘传胜, 梁 好, 谷静静, 陈映均, 吴加铨  
(广州军区联勤部净水研究所, 广东 广州 510500)

**摘 要:** 为解决野外净水器易滋生细菌的问题,采用浸渍法制备载银烧结活性炭滤芯,用其净化龙洞水、珠江水和麓湖水三种不同污染程度的野外地表原水,研究不同载银量对滤芯的除菌性能和水质的影响,并评估其净水安全性和持久性。结果表明,载银量越大,净水滤芯的除菌性能越好。当载银量为1%时,滤芯的净水水质可以达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求,净水量可以满足单兵在野外环境下7 d内的饮用水需求。同时,载银烧结活性炭滤芯具有良好的抗银流失性能,具有持久、高效的抑菌性能,且7 d内饮用其净水无安全风险。

**关键词:** 野外地表水; 烧结炭; 载银量; 净水滤芯; 菌落总数

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)19-0057-05

## Evaluation of Purification Effect of Wild Surface Water by Silver Loaded Sintering Carbon Filter

LIU Chuan-sheng, LIANG Hao, GU Jing-jing, CHEN Ying-jun, WU Jia-quan  
(Institute of Purification Water, Logistic Department of Guangzhou Military Area, Guangzhou 510500, China)

**Abstract:** To prevent bacterial breeding in outdoor water purifiers, a silver loaded sintering carbon filter was prepared by impregnation method and used to purify raw water collected from Longdong reservoir, Pearl River and Lu Lake with different levels of contamination. Effect of silver content on antibacterial properties of the filter and water quality was studied, and purification safety and persistence of the filter were evaluated. The results showed that the filter exhibited better antibacterial properties with higher silver contents. When the silver content was maintained at 1%, the effluent quality of the filter could reach the requirement of *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749-2006), and the water yield could also meet the individual soldier's drinking water demand within 7 days in the wild. Furthermore, the filter had good resistance to silver release and persistent and effective antibacterial performance, and there was no safety risk to drink the purified water within 7 days.

**Key words:** wild surface water; sintering carbon; silver content; purifying filter; aerobic bacterial count

单兵在长时间从事野外作业或执行户外作战任务时,无法携带大量清洁饮用水,需要在野外环境就地取水。但河水、湖水等野外地表水源通常受到工业废水、生活污水等不同程度的污染,直接饮用此类水极易引发疾病,造成不必要的非战斗性减

员<sup>[1]</sup>。目前军队的野外饮水安全保障措施仍以烧开水、投加消毒片(丸)、漂白粉、明矾等传统方法为主,仅有少量简易净水器以活性炭滤芯和超滤膜为主,但存在污染物去除效果差、细菌数量易超标、净水压力大、净水速度低以及寿命短的缺点,尚无法充

分满足军队的饮水需求<sup>[2,3]</sup>。

研究表明,将银负载到活性炭表面制成载银活性炭滤芯,能够有效解决野外净水器净水中细菌超标和污染物去除效果差的难题。然而,载银活性炭滤芯目前仅用于家用净水器中,在野外净水器中的应用较少。这是因为野外地表水各项水质指标远差于家用自来水,且传统的载银活性炭滤芯在野外无电力情况下难以与紫外消毒装置配套使用,无法保证杀菌性能的稳定性,导致其对野外水源水净化适应性较差。此外,现有的活性炭载银技术以粉末活性炭、颗粒活性炭、活性炭纳米管和活性炭纤维等材料浸渍载银最为普遍<sup>[4]</sup>,以此制备的载银活性炭通常机械强度较低,抗银流失性能差,抗菌持久性低,短时间内释放的银浓度过高,易危害人体健康<sup>[5]</sup>。

因此,笔者采用浸渍法制备了一种专门净化野外地表水的新型载银烧结活性炭滤芯,使其满足除菌效果好、污染物去除率高、净水速度快且使用寿命长的要求,并具有机械强度高、抗银流失性能好的特点。通过分析不同载银量的滤芯对麓湖水、珠江水、龙洞水的适应情况,考察其净化不同原水时的除菌性能及对其他污染物的去除效果,并通过净水中的银离子浓度,评价载银烧结活性炭的安全性能,旨在为其在野外净水器中的应用提供参考。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

试验采用的净水滤芯由载银烧结活性炭填充料组成,每个滤芯的填充量为8 g。载银烧结活性炭的制备方法见参考文献[4]。在制备过程中,通过改变AgNO<sub>3</sub>的投加量,制备3种不同载银量(0.5%、1%和2%)的载银烧结活性炭,将其清洗、干燥后放在干燥器中备用。

### 1.2 试验方法

为满足单兵在野外7 d的饮水需求,以每人每天饮水量为5 L计,将滤芯的额定净水量设定为35 L,并将该试验的净水量设定为40 L。试验原水分别取自珠江、麓湖和龙洞水库水面以下0.5 m的水层,水质情况见表1。

将取得的新鲜原水装入悬挂高度为1 m的净水袋,原水依靠重力作用向下流经装有不同载银量的载银烧结活性炭净水滤芯,在净水滤芯出水口得到净水。试验装置采取间歇运行方式,每天制取的净水量为5 L,记录净水时间,并测定净水的水质指

标,直至累计净水量达到40 L时结束试验。

表1 试验原水水质

Tab. 1 Quality of raw water in test

项 目	龙洞水	珠江水	麓湖水
浊度/NTU	13 ~ 15.1	21.5 ~ 24.3	54.0 ~ 58.9
pH 值	7.5 ~ 7.8	7.3 ~ 7.6	7.3 ~ 7.8
COD <sub>Mn</sub> /(mg · L <sup>-1</sup> )	2.5 ~ 3.7	5.1 ~ 6.7	8.7 ~ 10.7
氨氮/(mg · L <sup>-1</sup> )	0.12 ~ 0.42	2.8 ~ 4.1	0.81 ~ 1.2
铁/(mg · L <sup>-1</sup> )	0.41 ~ 0.64	0.73 ~ 1.16	0.05 ~ 0.28
锰/(mg · L <sup>-1</sup> )	0.31 ~ 0.53	0.68 ~ 0.93	0.08 ~ 0.15
菌落总数/(CFU · mL <sup>-1</sup> )	2 800 ~ 6 800	5 500 ~ 29 000	4 100 ~ 10 600

### 1.3 分析方法

色度、浊度、pH 值、总硬度、COD<sub>Mn</sub>、亚硝酸盐、氨氮、菌落总数和银离子浓度等指标均按照《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750—2006)测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 载银量对滤芯除菌效果的影响

活性炭载银量对滤芯除菌效果的影响见表2。可知,载银烧结活性炭滤芯对龙洞水、珠江水和麓湖水均有较好的除菌效果,且除菌率均随着活性炭载银量的增大而逐渐升高。当活性炭载银量为0.5%时,滤芯对龙洞水、珠江水和麓湖水的有效净水量分别为25、15和20 L,制得的净水中菌落总数分别为54、68和71 CFU/mL,均低于我国饮用水卫生标准的规定限值(100 CFU/mL)。但当净水量进一步增加时,净水中的菌落总数均超过100 CFU/mL。

当活性炭载银量增大到1%时,滤芯对龙洞水的有效净水量可以达到40 L,净水中菌落总数为96 CFU/mL,对珠江水和麓湖水的有效净水量均增加至35 L,其净水中的菌落总数分别为96和79 CFU/mL,这说明含1%载银量的活性炭滤芯比载银量为0.5%的活性炭滤芯具有更好的除菌性能和更大的净化容量,可以在7 d内为单兵在野外提供干净的饮用水。这主要是由于增大的载银量能够有效提高活性炭表面的含氧官能团和活性吸附位点数量<sup>[6]</sup>,改善滤芯的吸附性能。同时,随着载银量的增加,滤芯可以释放更多的银离子,提高其与细菌的接触几率,促使更多的银离子穿透细胞壁与微生物细胞内的蛋白巯基反应,抑制酶活性或凝固蛋白质<sup>[7]</sup>,并促进银离子激活原子氧,产生更多氧化能力极强的羟基自由基和活性氧离子,破坏细菌细胞的增殖。

表 2 不同试验条件下菌落总数的变化

Tab. 2 Change of aerobic bacterial count under different test conditions

CFU · mL<sup>-1</sup>

项 目		原水	净水量							
			5 L	10 L	15 L	20 L	25 L	30 L	35 L	40 L
0.5% 的载银量	龙洞水	2 950	7	15	25	34	54	102	143	217
	珠江水	8 370	14	32	68	106	158	195	340	420
	麓湖水	6 500	12	20	43	71	110	160	230	380
1% 的载银量	龙洞水	2 950	5	6	9	15	20	35	64	96
	珠江水	8 370	8	9	17	26	37	58	96	157
	麓湖水	6 500	7	8	11	18	25	44	79	129
2% 的载银量	龙洞水	2 950	3	4	7	12	17	25	43	82
	珠江水	8 370	7	7	12	21	29	46	77	117
	麓湖水	6 500	5	5	9	14	20	34	58	92

当活性炭载银量进一步提高至 2% 时,滤芯对龙洞水的有效净水量依然为 40 L,相应的净水中菌落总数下降至 82 CFU/mL;而以麓湖水为原水的净水中菌落总数下降至 92 CFU/mL,其有效净水量增加至 40 L。但滤芯对珠江水的有效净水量仍为 35 L,其净水中菌落总数为 117 CFU/mL。载银量由 1% 提高至 2% 时,增加的载银量虽然有利于提高滤芯的除菌效果,但改善作用并不明显。这可能是因为,当活性炭的载银量过高时,银颗粒团聚程度增加,极易堵塞活性炭的微孔和中孔甚至大孔,且活性炭表面被过多的银颗粒覆盖,比表面积急剧下降,对细菌的吸附性能降低。可见,载银量过低或过高均不利于载银烧结活性炭滤芯对原水的除菌净化。

2.2 载银量对净水速度和净水时间的影响

活性炭载银量对 3 种原水的净化速度和净水时间的影响如图 1 所示。可以看出,当活性炭载银量由 0.5% 提高至 2% 时,滤芯净化 5 L 水所消耗的时间略微增加,相应的净水速度稍有降低。这是因为随着载银量的增加,更多的银颗粒易进入活性炭孔道内部,或者负载在活性炭表面,堵住部分表面微孔,但该现象对净水速度的影响并不明显。

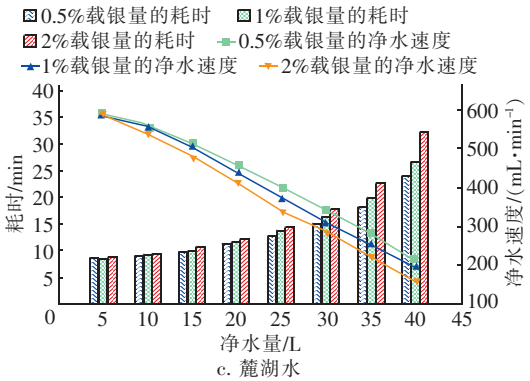
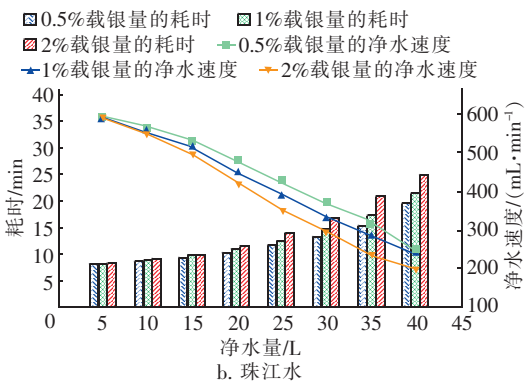
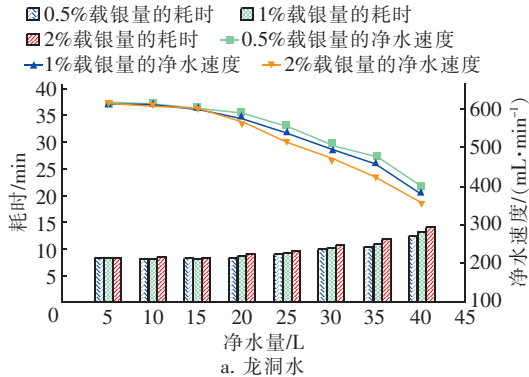


图 1 活性炭载银量对净水速度和净水时间的影响  
Fig. 1 Effect of silver content on water purification rate and time

从图 1 还可以看出,随着净水量的增加,滤芯对 3 种原水的净水速度均逐渐下降,且下降幅度随着载银量的增加而增大。这是由于被吸附截留的污染物逐渐在滤芯内形成污染层,且污染层厚度随着净水量的增加而增大,使得原水过滤阻力不断增大,该污染层的形成与原水中的浊度和菌落总数有很大关系。通常原水中的浊度和菌落总数越高,滤层中的污染层形成速度越快,相应的净水速度下降速度也越快。因此,以龙洞水为原水的滤芯净水速度高于

珠江水和麓湖水的,即净化同等体积的龙洞水所用的时间低于麓湖水和珠江水。当净水量达到 35 L 时,不同载银量下滤芯对龙洞水、珠江水和麓湖水的净水速度分别高于 420、238 和 221 mL/min,满足单兵正常饮水需求。调研结果表明,现有的单兵野外净水装置最大额定工作出水量通常为 20 L,平均出水速度为 150~170 mL/min,当出水量达到 20 L 时,出水速度大多下降至 110 mL/min 以下,在采用氮气加压和手挤压的基础上,制水 20 L 分别消耗 2.5 和

3.8 h<sup>[8]</sup>,远长于本试验滤芯的制水时间。

综合考虑滤芯的经济性、净化效率和除菌性能等因素,最适合单兵净水器滤芯的填充料为 1% 载银量的烧结活性炭,在该条件下滤芯能够以不同地表水为原水,制取不少于 35 L 的安全饮用水,可在 7 d 内为单兵提供充足的饮用水。

### 2.3 载银烧结活性炭滤芯的综合净水效果

1% 载银量的烧结活性炭滤芯对不同原水的综合净化效果见表 3。

表 3 载银烧结活性炭滤芯对其他水质组分的净化效果

Tab. 3 Removal efficiency of other pollutants by filter

项 目	龙洞水		珠江水		麓湖水	
	原水	净水	原水	净水	原水	净水
色度/度	15.1	0.8	30.4	2	27.9	1.5
浊度/NTU	14.5	0.8	23.4	0.8	56.9	1.6
臭和味	有	无	有	无	有	无
肉眼可见物	有	无	有	无	有	无
pH 值	7.5	7.7	7.5	7.4	7.7	7.8
COD <sub>Mn</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	3.2	1.7	5.8	2.1	9.6	3.2
氨氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.26	0.10	3.71	0.44	1.03	0.37
亚硝酸盐/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.013	0	0.62	0.38	0.026	0.004
氯化物/(mg·L <sup>-1</sup> )	1.0	1.0	35.1	34.5	11.4	10.5
铁/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.51	0	0.95	0	0.14	0
锰/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.41	0	0.85	0	0.11	0
总硬度/(mg·L <sup>-1</sup> )	22.3	21.0	128.2	124.7	84.1	79.8

从表 3 可以看出,该滤芯除具有良好的除菌性能外,还能够改善净水的综合水质,经滤芯净化后的出水水质均符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)要求。由此可见,该载银烧结活性炭滤芯对龙洞水、珠江水和麓湖水均具有较好的适应性,可用于不同野外地表水的净化过程。

从表 3 还可以看出,该滤芯对原水的硬度几乎无影响,但对 3 种原水的色度和浊度的去除率均达到 93.4% 和 94.5% 以上,对铁、锰的去除率可达到 100%,能够完全去除水中的臭和味以及肉眼可见

物,说明该滤芯具有良好的吸附和过滤性能。同时,对原水中 COD<sub>Mn</sub> 的去除率均超过 46.9%,对氨氮的去除率超过 61.5%,且水中的亚硝酸盐也保持在较低水平。这说明滤芯对有机物有一定的去除效果,且被去除的有机物在滤芯内未被微生物降解,氨氮也未被转化为亚硝酸盐,间接证明了该滤芯具有良好的抑菌性能,可抑制被滤芯吸附的细菌的活性。

### 2.4 载银烧结活性炭滤芯的安全性能评价

分析 1% 载银量的烧结活性炭滤芯净化地表水的安全性能,结果见表 4。

表 4 净水中银溶出量的变化

Tab. 4 Change of released silver content in purified water

μg·L<sup>-1</sup>

项 目	净水量								
	0~1 L	5 L	10 L	15 L	20 L	25 L	30 L	35 L	40 L
龙洞水	32.7	31.4	30.0	28.8	28.3	27.9	27.6	27.5	27.5
珠江水	33.1	31.6	30.2	29.0	28.5	28.1	27.8	27.6	27.5
麓湖水	32.9	31.6	30.1	28.8	28.1	27.8	27.6	27.5	27.5

由表 4 可知,净水量低于 1 L 时,净水中的银离子含量高于 32.7 μg/L,继续增大净水量,滤芯中的

银离子溶出浓度逐渐降低,并在净水量超过 25 L 后趋于稳定。由此可见,当滤芯累计净水量不超过 40

L时,净水中的银离子含量介于27.5~33.1  $\mu\text{g/L}$ ,均低于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的限值。这不仅说明在7 d有效净水周期内的净水可供单兵安全饮用,也证明该载银烧结活性炭的抗银流失性能良好,能够实现银的缓释,保持持久有效的抑菌性能。

### 3 结论

① 载银烧结活性炭滤芯可以有效净化龙洞水、珠江水和麓湖水3种不同污染程度的野外地表水,且载银量越大,除菌效果越好。综合考虑经济性、净化效率和除菌性能等因素,载银量为1%的烧结活性炭滤芯即可满足单兵净水器的净水需求。

② 在载银量为1%的条件下,载银烧结活性炭滤芯可以改善野外地表原水的综合水质,净水水质符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)要求,能够保障单兵在野外环境下7 d内的饮用水需求。

③ 载银烧结活性炭滤芯抗银流失性能好,具有持久、高效的抑菌性能,且7 d内可保证饮用水的安全性。

### 参考文献:

- [1] 何金圣,徐立平,杨积顺. 野外超滤膜净水装置的设计及研制[J]. 中国医疗设备,2013,28(6):31-33.  
He Jinsheng, Xu Liping, Yang Jishun. Design and development of the ultrafiltration water purification device in the wild field[J]. China Medical Devices, 2013, 28(6): 31-33 (in Chinese).
- [2] 刘传胜,苏雅,梁好,等. 一种小型单兵净水装置[P]. 中国专利:2016202282079,2016-09-21.  
Liu Chuansheng, Su Ya, Liang Hao, et al. A Portable Soldier Water Purification Device[P]. China: 2016202282079, 2016-09-21 (in Chinese).
- [3] 梁好,刘传胜,苏雅,等. 便携式野外净水器的除菌性能及其水处理效果研究[J]. 应用化工,2017,46(6):1225-1228.  
Liang Hao, Liu Chuansheng, Su Ya, et al. A research of sterilization performance and effect of water treatment by a portable water purifier[J]. Applied Chemical Industry, 2017, 46(6): 1225-1228 (in Chinese).
- [4] 肖凯军,王文霞,何婷琳,等. 一种载银烧结活性炭及其制备方法[P]. 中国专利:2013107167078,2015-04-22.  
Xiao Kaijun, Wang Wenxia, He Tinglin, et al. A Silver Sintering Activated Carbon and Its Preparation Method [P]. China: 2013107167078, 2015-04-22 (in Chinese).
- [5] Kim B J, Park S J. Antibacterial behavior of transition-metals-decorated activated carbon fibers[J]. J Colloid Interface Sci, 2008, 325(1): 297-299.
- [6] 王忠明,黄天寅,陈家斌,等. 载银活性炭活化过硫酸钠降解酸性橙7[J]. 环境科学,2015,36(11):4127-4134.  
Wang Zhongming, Huang Tianyin, Chen Jiabin, et al. Degradation of acid orange 7 with persulfate activated by silver loaded granular activated carbon[J]. Environmental Science, 2015, 36(11): 4127-4134 (in Chinese).
- [7] Rai M, Yadav A, Gade A. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials[J]. Biotechnol Adv, 2009, 27(1): 76-83.
- [8] 张延坤,李迎凯,梁增辉,等. 单兵野战净水装置的研制[J]. 解放军预防医学杂志,2004,22(6):416-418.  
Zhang Yankun, Li Yingkai, Liang Zenghui, et al. Development of personal water purifying device for soldier in the field[J]. Journal of Preventive Medicine of Chinese People's Liberation Army, 2004, 22(6): 416-418 (in Chinese).



作者简介:刘传胜(1968—),男,广东广州人,本科,高级工程师,主要从事军队野外饮用水安全保障技术研究和军队野外净水设备的研制工作。

E-mail: liuchuans@163.com

收稿日期:2018-04-12