

# Analysis about a New Inexpensive Water Purification Equipment Based on SSF

Jiyuan Lan<sup>1</sup>, Lin Yang<sup>1</sup>, Xiang Cui<sup>1</sup>, Youcai Jin<sup>1</sup>, Chad Jafvert<sup>2</sup>, Lin Ye<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Chemistry Department, Qinghai Normal University, Xining Qinghai

<sup>2</sup>Lyles School of Civil Engineering, and Division of Environmental & Ecological Engineering, Purdue University, West Lafayette USA

<sup>3</sup>Utah-Qinghai Eco-Partnership, Shanghai Office, Shanghai

Email: [jiyuanlan@126.com](mailto:jiyuanlan@126.com)

Received: Dec. 6<sup>th</sup>, 2017; accepted: Dec. 20<sup>th</sup>, 2017; published: Dec. 29<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

The paper introduces a household inexpensive drinking water purification equipment, which uses Slow Sand Filters (SSF) technology, and the equipment has a lot of advantages, such as its low cost, high water output, good water quality, high reliability, and few occupied space, and it can be used without power supply and chemical agent. The operation and maintenance are simple and the installation is convenient. So it is very suit for home use, which lies in the area with lacking drinking water purification equipment such as mountain area, pastoral areas and rural area, and it also supplies a suitable drinking water purification method for poor water quality area.

## Keywords

Inexpensive, Slow Sand Filters, Drink Water, Water Purification Equipment, Home Use

---

# 一种基于慢沙过滤原理的新型低成本净水装置简介

拦继元<sup>1</sup>, 杨林<sup>1</sup>, 崔香<sup>1</sup>, 靳有才<sup>1</sup>, Chad Jafvert<sup>2</sup>, 叶林<sup>3</sup>

<sup>1</sup>青海师范大学, 化学系, 青海 西宁

<sup>2</sup>普渡大学, 环境生态工程与土木工程, 美国印第安纳州西拉法叶校区, 美国 西拉斐特

<sup>3</sup>犹他-青海联盟上海办事处, 上海

Email: [jiyuanlan@126.com](mailto:jiyuanlan@126.com)

收稿日期: 2017年12月6日; 录用日期: 2017年12月20日; 发布日期: 2017年12月29日

## 摘要

本文介绍了一种利用慢沙过滤(SSF)技术来净化饮用水的低成本家用净水装置,该装置具有成本低、出水量多、出水水质好、可靠性高、占地面积小、无需供电、不用投药、操作维护简单及安装方便等特点,特别适合于山区、牧区、农村等缺少饮用水净化处理设备的家庭使用,也为水质较差的地区提供了一种合适的饮用水净化处理方法。

## 关键词

低成本, 慢沙过滤, 饮用水, 净水装置, 家庭使用

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 引言

在我国中西部广大缺水的农村地区,由于受到人口居住分散、地理位置偏远、经济水平较低等各种因素影响,饮用水的安全问题一直以来都十分严峻[1] [2] [3]。虽然许多地区通过母亲水窖工程、人畜饮水工程、农村饮水解困工程等工程性措施解决了水源有无的问题,但由于这类工程并不具备净化水质的功能,因此并没有从本质上解决农村饮用水水质安全的问题[4] [5]。市面上虽然有大量的成套净水装置,但由于受到价格、使用条件、使用寿命及操作维护等各方面条件的限制,无法在广大农村地区推广使用,因此寻找一种简单实用、经济性好、适合于农村家庭使用的净水装置就成了解决农村地区饮用水水质安全问题的当务之急[6] [7]。

美国普渡大学教授 Chad Jafvert 及其团队根据这一情况,结合水力学、物理化学和材料学等各学科特点,通过大量实验,发明了一种适合于偏远地区使用的低成本净水装置,该装置利用慢沙过滤(Slow Sand Filter, SSF)原理,可过滤混浊原水中绝大部分的悬浮物和胶体,经过这套装置过滤后,混浊原水中的肉眼可见物几乎全部被去除,浊度大幅下降,饮用水水质有很大的提高。通过对哥伦比亚、肯尼亚和坦桑尼亚的农村地区进行的大量验证性实验,结果表明这套装置非常适合在没有饮用水净化处理设备的农村家庭使用,其最大的特点是成本非常低廉,整套装置成本不超 80 元 RMB,适合贫困地区家庭使用,另外该套装置还具有出水量多、出水水质好、可靠性高、占地面积小、不需供电和投药、操作维护简单、安装方便等特点,非常适合在没有饮用水净化处理设施的农村地区推广使用。

2015 年 6 月,青海师范大学低成本水净化项目组与美国普渡大学 Chad Jafvert 教授合作,对青海省西宁市周边农村地区进行了前期考察,并选定互助县东山乡吉家岭村作为低成本净水装置的验证点。通过对用户的走访调查及水样对比分析实验,结果表明这种净水装置也同样适合在我国没有饮用水净化处理设施的农村地区使用,现简要介绍这种净水装置。

## 2. 净水装置简介

### 2.1. 净水装置原理

颗粒状固态滤料,如大小不等形状不均的沙石、石英沙和沙粒等,因为其本身具有较大的比表面积,

所以当水流过颗粒状固态颗粒时,水中所携带的悬浮物、胶体、甚至是溶解性物质等杂质都被截留在颗粒状固态滤料的表面和内部,能起到过滤和净化水质的作用,也正因为如此地下水在运移的过程中由于水中杂质受到沙石颗粒的过滤,水质普遍较好。

基于同样的原理,在集中供水常规处理工艺流程中的普通快滤池也是利用石英沙或沙粒所拥有的巨大表面积对原水中所携带的杂质进行过滤,以达到净化原水的目的,但由于这种快滤池的过滤速度较快,同时因为连续运行,沙层表面和内部会很快蓄积各种杂质,导致水力条件发生改变,水头损失逐渐增大,此时就需要对沙层进行反冲洗,以使其重新恢复到正常工作状态。如若将普通快滤池的过滤速度减慢,同时去掉反冲洗等附属设备,则快滤池就变成慢滤池。慢滤池的特点是过滤速度很慢,同时在过滤初期存在一个成熟期(一般为一周左右),在成熟期内,过滤出来的水由于冲洗了尚不太干净的沙粒,所以含有很多杂质,肉眼看上去比较混浊,经过成熟期之后,慢滤池内的沙粒已经被水冲洗干净,这时过滤出来的水才较为清澈。另外在成熟期内,沙层表面会形成一层具有粘性的滤膜(主要组成是藻类、原生动物等微生物),这层滤膜填充在松散的表层沙粒空隙之间,可以过滤和粘附悬浮物、胶体和一部分溶解性有机物,另一方面,滤膜内的微生物可以氧化分解一部分溶解性有机物,进而起到净化水质的作用。除此之外,慢滤池也能很好的去除细菌、病毒、臭味和色度[8],出水浊度一般小于 1 NTU [9],一般情况下出水水质很好,可直接饮用[10]。但慢滤池的缺点也很明显,滤料容易堵塞,需要频繁的更换或清洗表面沙层,劳动强度大,占地面积大,这些是慢滤池发展受限制的主要原因。

本文介绍的低成本净水装置利用慢滤池对原水中的杂质有较强的去除能力这一特点,用粒径较小的沙粒来模拟沙层,让原水缓慢的流过沙层,一方面利用沙粒巨大的比表面积和表层所形成的滤膜来过滤和粘附水中的杂质,另一方面利用工作间歇时间,使表面沙层滤膜内的微生物氧化分解一部分溶解性有机物,从而达到净化水质的目的。其处理工艺和过程也可以看作是慢滤池的精简版,只不过不同的是慢滤池是连续运行,而该装置则是间歇性运行。该装置在设计之初是以处理单个家庭一日所需的饮用水量来作为工作负荷,因此该装置的工作负荷相比起慢滤池来说是很小的。在正常工作状态时,沙粒和滤膜对原水中的杂质进行过滤和粘附,使悬浮物、胶体和溶解性有机物等杂质停留在沙层内部,在工作间歇,利用滤膜中存在的各种微生物对沙层中所粘附的溶解性有机物进行氧化分解,这样该装置始终处在过滤粘附-氧化分解-过滤粘附的循环之中,再加上其较低的工作负荷,使沙层堵塞的周期大大延长,因此该装置既省去了普通快滤池所必须的反冲洗步骤,也无需像慢滤池一样频繁的更换表面沙层,大大简化了饮用水处理的工艺和流程,提高了设备的可靠性,并降低了造价。

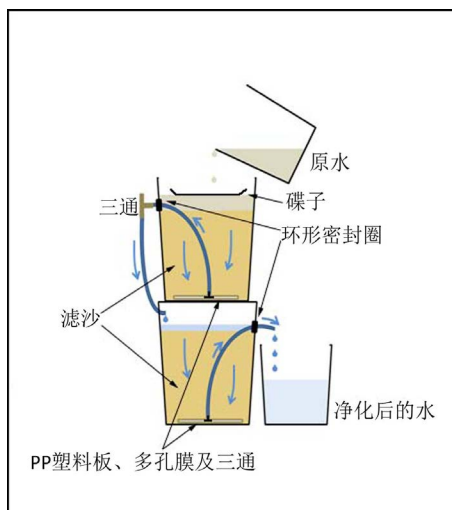
## 2.2. 净水装置的组成、材料及安装

该净水装置由上下两个桶叠加组成,详见图 1 和图 2,每个桶的容量为 18~20 L 左右,材质为 PP 塑料,上桶须在桶壁上部外沿钻一个直径大约 1.3 cm 的孔,安装环形橡胶密封圈,下桶亦是如此,只是下桶的桶壁外沿上需另外钻一个孔,以方便上桶中的塑料软管插入。每个桶中装有大量洗净的沙子(沙子粒径介于 0.35~1.2 mm 之间,图 2 中黄颜色部分。较小的沙子粒径可增加对细菌的去除效果[11]),沙子底部埋有一块 pp 塑料面板和塑料三通管一个,塑料面板被一层 pp 材料构成的多孔材质网(网格需小于 0.25 mm,以保证沙粒不会进入网内部)包裹,用直径 1 cm 的食品级塑料软管连接底部三通管引出至桶外。将 2 个塑料桶盖上桶盖,叠加安放到一起,用一根塑料软管和三通将 2 个桶连接到一起,净水装置便安装完成。另取 2 个 4 L 塑料小桶,其中一个作为收集经该装置处理过的干净饮用水,另外一个小桶的作用是向该装置中灌入原水。在上桶中沙粒上层再放置一个塑料碟子,以保证灌水时水流不会冲击破坏沙层。整套净水装置中所有塑料均为食品级 pp 塑料,之所以采用 pp 塑料是因为其无毒、无臭、无味,化学稳定性好,耐热性较高,可在 110℃ 下连续工作,并且对水特别稳定,是食品级塑料的首选。



**Figure 1.** The practicality picture of inexpensive water purification equipment

**图 1.** 低成本净水装置实物图



**Figure 2.** The structure charts of inexpensive water purification equipment

**图 2.** 低成本净水装置结构图

### 2.3. 净水装置的使用及维护

初次使用时，由于桶中沙粒并未彻底清洗干净，还残存有一些杂质，因此需要按照以下方法将沙粒冲洗干净：首先用 4 L 的小桶将原水倒入上桶，连倒 3 桶即 12 L，随即经过处理的水就从下桶软管处流出，但由于是初次使用，沙子并未彻底清洗干净，出水中含有大量杂质，且水质较为混浊，因此不能作为饮用水，可将此水重新倒入净水装置中，也可另取原水倒入，但需间隔 8 h 后重新将 3 小桶，即 12 L 原水灌入，再间隔 8 h 后重新灌入 3 小桶原水。因此在初次使用时该装置一天可最多接受灌水 3 次，用于清洗沙粒中的杂质，待 1~3 天后，出水会逐渐变的清澈(具体时间由沙粒干净程度及原水水质而定)，此时该装置沙粒清洗完毕，装置即可正式投入使用。

投入使用后，净水装置的灌水间隔仍是 8 h，即一天 3 次，但每次可将 6 小桶即 24 L 原水灌入，约 0.5h 后可产生 24 L 清洁饮用水(净化效果见图 3)，8 h 后又可将 6 小桶即 24 L 原水灌入，约 0.5 h 后又可





**Figure 3.** The contrast picture of purified (left) and non-purified (right) water sample

**图 3.** 净化后的水(左侧)与原水(右侧)对比

产生 24 L 清洁饮用水，这样一天可产生约 72 L 的饮用水，足以满足农村家庭一天的饮水量。使用时严禁连续多次向净水装置中灌入过量的原水，一般应尽量间隔较长的时间，可采取晚上睡前灌入 24 L 原水，待第二天早晨再灌入 24 L 原水，等至下午后再灌入 24 L 原水，以间隔 8 h 作为该净水装置的工作频率，即可保证沙粒中的微生物有充足的时间来氧化分解水中的溶解性有机物。

净水装置平常应将桶盖盖上，以避免阳光照射沙粒滋生藻类，但净水装置在使用几年以后(具体时间随原水水质及工作条件而变)，表层沙粒上会产生一层绿色藻类，这时可将这层含有藻类的沙粒取出，重新灌入新的沙粒，或者将含有藻类的沙粒在水中清洗干净后再重新放入桶中，按照初次使用方法重新冲洗沙粒，即可重新投入使用。净水装置夏季使用时应安置在阴凉处，尽量避免阳光直射桶体而导致发生塑料变脆、开裂等现象。冬季使用时应放置在室内，防止净水装置内部余水结冰而对净水装置造成损害。

### 3. 验证点当地情况及生活用水简介

选取青海省互助县东山乡吉家岭村作为验证点，从该村 150 户家庭中选取 3 户家庭作为验证实验家庭。互助县东山乡位于青海省东部，互助县中部，距互助县政府驻地 15 千米，人口 1.1 万，民族以土族为主，土族占该地区总人口的 75.6%，东山乡面积为 85.5 平方千米，地形主要以山区丘陵为主。吉家岭村地理位置位于 N: 36°41'6", E:101°57'10", 海拔 2688 m，全村 150 户，约 500 人左右，主要种植的农作物为小麦、油菜和土豆，村民的主要收入以打工和种地为主。

吉家岭村饮用水全部依靠每户庭院中修建的母亲水窖，这种水窖能收集雨季时落在庭院中的雨水，并储存起来作为生活饮用水。但由于受各种因素影响，窖水的水质普遍较差[4]，又因雨水在水窖中储存时间较长，容易滋生细菌[12]，外地人饮用当地水窖中的水，常会发生腹胀、腹泻。另外储存在水窖的雨水虽然经历长时间的沉淀后悬浮物质逐渐下沉至水窖底部，但取水时产生的扰动(例如水泵抽水、水桶提水)又将已经沉淀的悬浮物质重新泛起，取出的水中经常观察到肉眼可见物，部分水窖中的原水颜色呈浅黄色。当水窖中的雨水用完后，只得依靠拖拉机前往远处的一眼山泉，运来泉水后注入水窖，但花费较大(一次运水约 1 t，花费 30 元，可满足三口之家约 10 天的用水量)，且泉水的口感也并不是很好。

## 4. 实验结果

### 4.1. 验证点取样情况简介

在吉家岭村分别选取席寿中、张金地、张世孝 3 户作为验证实验家庭，在这 3 户家中各安装低成本净水装置一套，待其运行稳定后，分别对净化前和净化后的水样进行采样，共采得 6 份样品。对所采样品中的阳离子用原子吸收法测定其浓度，对阴离子采用离子色谱法测定其浓度，对水样中的有机物质进行紫外测定，其中阴、阳离子浓度及浊度变化情况详见表 1，肉眼观察对比见图 3，紫外吸收谱图见图 4、图 5、图 6。

### 4.2. 实验结果

从表 1 中可以看出对于阳离子，除席寿中家的  $Zn^{2+}$  和  $Fe^{3+}$ 、张金地家的  $Ca^{2+}$  和  $K^+$  在净化前后浓度有小幅度的下降之外，其他金属离子的浓度变化不大，说明该装置对于金属离子几乎没有吸附能力。表中有些数值净化后比净化前大，但幅度非常小，可以理解为该净水装置中沙粒所含的一部分金属离子溶解进入到水中，从而引起金属离子浓度的增加。

对于阴离子，从表 1 中可以看出主要检测出 4 种，分别为  $F^-$ 、 $Cl^-$ 、 $NO_3^-$  和  $SO_4^{2-}$ ， $F^-$  在净化前后浓度变化很小，而  $Cl^-$  和  $NO_3^-$ ，净化后的浓度比净化前有所增大，但增加幅度很小，只有  $SO_4^{2-}$  净化后比净

**Table 1.** The purified and non-purified concentration contrast of cations, anions and turbidity in samples

**表 1.** 净化前与净化后水样中阳离子、阴离子浓度及浊度变化情况(单位 mg/L, -表示未检出)

检测元素	检测方法 & 仪器	相关系数	张金地		席寿中		张世孝	
			净化前	净化后	净化前	净化后	净化前	净化后
$Mg^{2+}$	原子吸收 北京普析通用 TAS-990	0.99900	2.352	3.012	2.074	2.176	1.57	1.754
$Zn^{2+}$		0.99553	-	-	0.916	-	-	-
$Fe^{3+}$		0.99933	-	-	0.404	0.004	-	-
$Mn^{2+}$		0.99932	0.006	0.009	0.012	-	-	-
$Ca^{2+}$		0.99713	14.998	13.214	13.216	13.964	10.714	11.419
$Pb^{2+}$		0.99991	0.001	0.006	0.001	0.005	-	-
$Cd^{2+}$		0.99783	-	-	-	-	-	-
$K^+$		0.99221	3.972	3.428	4.547	4.351	3.648	3.354
$Gu^{2+}$		0.99833	-	-	-	-	-	-
$F^-$		离子色谱 瑞士万通 792 Basic IC	0.99993	0.546	0.679	0.524	0.673	0.220
$Cl^-$	0.99983		3.169	17.684	4.631	6.197	1.303	1.526
$NO_2^-$	0.99999		-	0.245	-	-	-	-
$Br^-$	0.99999		-	-	-	-	-	-
$NO_3^-$	0.99997		10.231	10.526	19.349	24.432	8.030	8.897
$PO_4^{3-}$	0.99991		-	-	-	-	-	-
$SO_4^{2-}$	0.99994		54.025	133.227	92.334	125.591	8.062	10.192
浑浊度 NTU	浊度计 上海听瑞 WGZ-3P		---	5.97	1.38	13.93	2.08	1.48

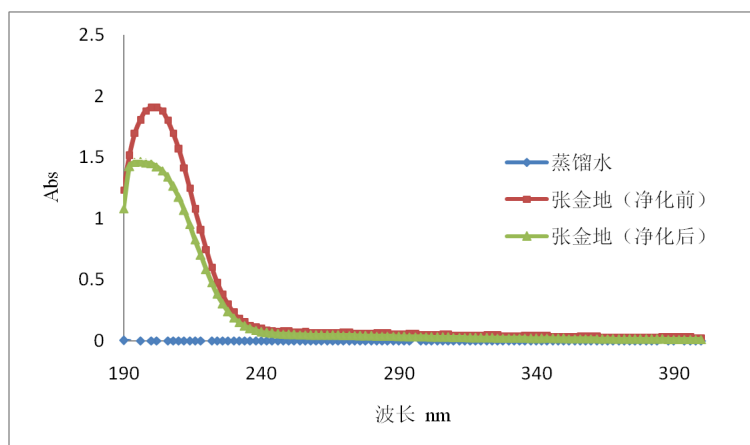


Figure 4. The UV absorption spectrum of purified and non-purified water sample in Zhang Jindi's house

图 4. 张金地家水样净化前后紫外吸收谱图

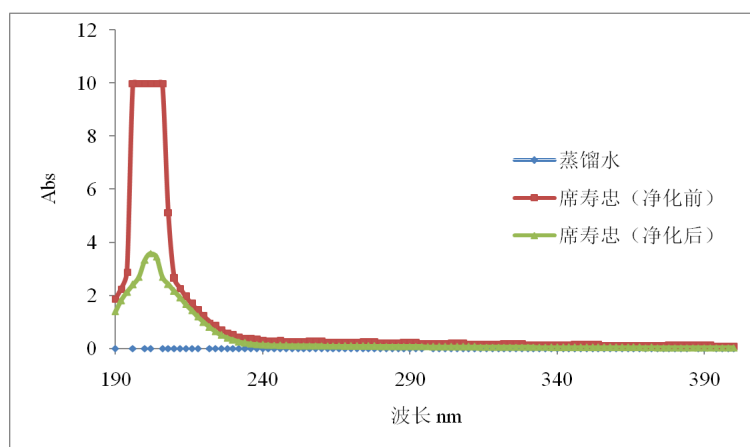


Figure 5. The UV absorption spectrum of purified and non-purified water sample in Xi Shouzhong's house

图 5. 席寿忠家水样净化前后紫外吸收谱图

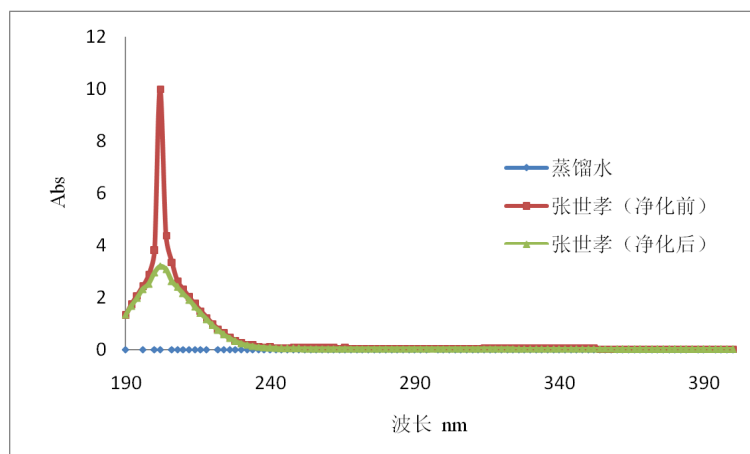


Figure 6. The UV absorption spectrum of purified and non-purified water sample in Zhang Shixiao's house

图 6. 张世孝家水样净化前后紫外吸收谱图

化前有一定幅度的增加,也可以认为是净水装置材料中的一部分  $\text{SO}_4^{2-}$  溶解到水中,从而引起  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度的增加。所有水样中  $\text{Cd}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{Br}^-$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$  几乎未被检出。

从表 1 及图 3 可以看出,三户家庭的原水经过过滤后,浊度均有明显的下降,这说明这套低成本净水装置对于浊度有非常好的去除效果。从图 3 也可看出,原水非常浑浊,但经过过滤后,窖水即变得非常清澈,且符合国家《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)中关于浊度在水源与净水技术条件限制时不大于 3NTU 的规定。

从图 4、图 5 和图 6 这三个紫外吸收谱图可以看出,在波长 202 nm 处,无论是净化前还是净化后均有一个吸收峰值,表明在这三户家庭水源中均含有不饱和烃类,但净化后不饱和烃类的吸收峰无论是峰高还是积分面积均有大幅下降,这表明该套净化装置对于水中的溶解性有机物也有较大的吸附作用。

通过上述实验,可以总结出该净水装置对水中阴、阳离子几乎没有去除的能力,但对于浊度和溶解性有机物有比较高的去除能力。之所以会出现上述情况,本人认为有两个原因:① 表层沙粒间所形成的滤膜对于溶解性有机物有较大的粘附作用,因为滤膜中的微生物以溶解性有机物为主要的食物来源,在经历成熟期的驯化之后,表现出对浊度和溶解性有机物有很强的粘附能力。② 水中金属离子的直径明显小于溶解性有机物的直径,并且对于滤膜中的微生物来说,金属离子并不是其生长所必须的,有些重金属离子甚至对微生物有毒害作用,所以滤膜中的微生物对于直径较小的金属离子去除能力很差。

## 5. 总结

该装置以沙粒作为主要的滤料介质,本质上是模拟慢滤池净化原水的机理,通过对体积庞大的慢滤池经过小型化和实用化改造后,创造性的将慢滤池连续运行的工作状态改变成间歇运行的工作状态,使该装置既保留了慢滤池出水水质高的优点,又摒弃了慢滤池需要频繁更换表层滤料这一致命缺点,使之更加适合于农村等偏远地区家庭使用。

该装置工作时,原水在重力的作用下从上至下流过沙层,利用沙粒和表层沙粒所形成的滤膜来过滤水中的固体悬浮物质和胶体,使水澄清,同时粘附水中的溶解性有机物等杂质,并在工作间歇利用微生物对粘附的溶解性有机物进行氧化分解,从而将一部分溶解性有机物降解成二氧化碳和水等无机小分子。通过以上图片和实验可以看出,该装置既可彻底去除水中的悬浮物质和胶体,也可去除一部分溶解性有机物,但该装置对于水中的大部分阴离子和阳离子去除效果较差。

该净水装置有很多独特的优点,其最大的优点是成本低,通过对本次验证实验所采购的原材料价格进行分析得出:该净水装置总成本不超过 80 元 RMB,如将该装置大批量工业化生产,则可进一步降低采购及人工成本,价格也可进一步降低。除此之外,该套装置还具有出水量大、出水水质高、可靠性高、占地面积小、无需供电和投药、操作维护简单及安装方便等特点,非常适合于山区、牧区、农村等相对偏远地区的家庭作为生活饮用水的净化处理设备来使用。

## 基金项目

青海省科技厅 2016 年国际科技合作计划项目(偏远地区低成本饮用水净化技术示范,编号:2016-HZ-805)。

## 参考文献 (References)

- [1] 杨元清, 庞清江, 宋岩, 等. 我国农村饮用水水质安全问题探析[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2008, 39(1): 119-124.
- [2] 蔡祖华, 朱匡纪, 樊宏, 等. 农村饮用水卫生现状及其影响因素与对策[J]. 中国初级卫生保健, 2006, 20(2): 66-67.
- [3] 袁春生, 刘琼, 温珍玉. 农村饮用水安全问题及其对策[J]. 人民珠江, 2008(2): 75-76.



- [4] 蔺兴遥, 周晶. 甘肃省“母亲水窖”水质状况调查与对策分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2009, 19(11): 2705.
- [5] 任伯帜, 邓仁建. 农村饮用水安全及其对策措施[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(5): 11-17.
- [6] 傅薇莉, 陈慧妃. 农村饮用水净化工艺及其设备的选择[C]//第三届环境与发展中国论坛论文集, 北京: 红旗出版社, 2008: 221-225.
- [7] 郝桂玲, 李文奇. 我国农村饮用水净化技术进展[J]. 中国水利, 2007(10): 113-115.
- [8] 张国珍, 李舜, 刘晓冬, 等. 粗滤慢滤技术在西北村镇集雨窖水处理中的应用研究[J]. 给水排水, 2012(2): 11-15.
- [9] 崔招女, 刘学功, 刘文朝, 等. 农村饮用水净化模式的选择[J]. 中国水利, 2005(19): 26-28.
- [10] 《环境科学大辞典》编委会. 环境科学大辞典[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008.
- [11] 刘玲花, 周怀东, 王卫红, 等. 生物慢滤技术用于农村饮用水处理的研究[J]. 安全与环境学报, 2004(1): 13-16.
- [12] 刘玲花, 刘来胜, 吴雷祥, 等. 西北村镇集雨饮用水安全保障适用技术与示范[J]. 给水排水, 2013(12): 21-25.

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5485, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [aep@hanspub.org](mailto:aep@hanspub.org)