DOI: https://doi.org/10.26549/gcjsygl.v5i7.6946

Development of Portable Emergency Manual Water Supply Machine

Shichao Wei Juan Du Mingya Liu Jia Li Kai Zhang

Research Institute of Physical and Chemical Engineering of Nuclear Industry, Tianjin, 300180, China

Abstract

China, is one of the countries which suffer natural disasters most in the world, and the supply of safe drinking water for the victims in the disasters is a big problem. In order to improve the ability of supporting after disasters, the paper developed a manual portable emergency water supply machine which is simple-structured and easy to disassemble. Through program design and optimization, countermeasures were formulated and implemented, and the effects were checked and consolidated. The result of the paper has economic and social benefits, and will play an important role in emergencies.

Keywords

emergency water supply; drinking water; manual; portable

便携式应急手动供水机的研制

魏世超 杜鹃 刘明亚 李佳 张凯

核工业理化工程研究院，中国·天津 300180

摘 要

中国是世界上遭受自然灾害最多的国家之一，如何及时为灾民提供安全的饮用水成为最大的难题。为增强突发灾害情况下应急救灾能力，论文研制了一款结构简单、拆装操作方便、手动便携的应急供水机。通过方案设计、优选，制定并实施了对策，检查并巩固了效果。论文提出的成果具有良好的经济和社会效益，对突发性的救灾抢险事件的紧急处置将发挥重要的后勤保障作用。

关键词

应急供水；生活饮用水；手动；便携

1 选择课题

中国是世界上遭受自然灾害最多的国家之一，灾害发生时，绝大多数情况下会造成饮用水供应系统的破坏。此外，生活环境的恶化还会引起水质的改变，包括水中的各种细菌、微生物、重金属等，这些问题如果不能及时得到妥善处理会引起水源性疾病的发生，严重时甚至会威胁百姓的生命安全和社会稳定。

目前，救灾时常用的供水手段有运水车，净水设备，空投瓶装水等，在电力中断、道路破坏等情况下，上述手段缺乏有效保障。因此，一套除了能保障饮用水安全性以外，还具有快速反应能力和较强的适应性，同时操作简便可靠的应急供水系统能够有效地解决上述问题，为应急抢险救援提供重要保障 [1]。

2 设定目标

设计一台便携式应急手动供水机，能够将轻微污染的河水、湖水、地下水等处理成为生活饮用水，可以满足抢险救灾中大量的安全饮用水需求，且满足如下性能指标：

（1）水源符合 GB3838—2002《地表水环境质量标准》Ⅴ类以上的水源时产水达到 GB5749—2006《生活饮用水卫生标准》中微生物指标、毒理指标和感官性状和一般化学指标要求 [2]。

（2）供水机产水为手动操作，产水量：≥ 1t/h。

【作者简介】魏世超（1988-），男，中国河北人，工程师，研究生学历，从事核环境工程研究。

 DOI: https://doi.org/10.26549/gcjsygl.v5i7.6946

（3）便携性，整机重量：≤ 80kg。

3 提出方案并确定最佳方案

3.1 方案设计要求

对供水机整体要求：产水水质水量达标，结构简单，拆装方便，手动便携。

3.2 整体方案确定

针对便携式应急手动供水机的研制提出方案，并使用亲和图进行了归纳和整理。便携式应急手动供水机的水处理工艺分为预处理、灭菌和拦截吸附三部分，结构上主要包括进水系统、储水灭菌系统和净化出水系统，如图 1 所示。

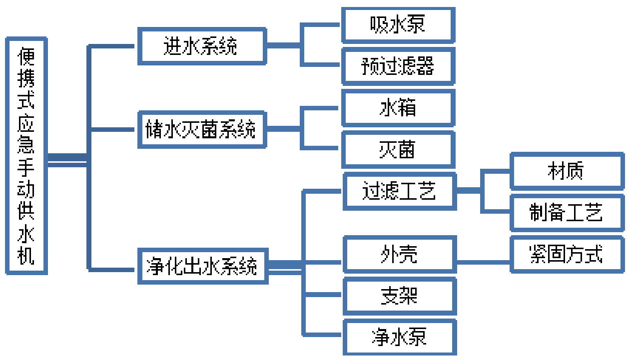

图 1 便携式应急手动供水机水结构组成

3.3 方案优选

3.3.1 吸水泵

根据市场调研，对 3 款吸水泵进行了方案分析和现场实验对比，最终选择的吸水泵具有重量轻，操作阻力小的特点。

3.3.2 预过滤器

预过滤器的作用主要为去除泥沙、杂质等颗粒物质。根据预过滤器的特点，选择了小孔底阀、Y 型过滤器和普通底阀 + 布袋三种预过滤方案，对这三种方案进行了对比分析。优选普通底阀＋布袋的方式，该方式重量轻，能满足供水通量需求，拆装方便，能够过滤小颗粒泥沙，清洗更换方便。

3.3.3 水箱

水箱的作用是储存原水，并对原水进行消毒处理，根据市场调研，选取了三款水箱，通过对比实验，优选出一款具有双层结构，可折叠，内胆更换方便，成本低的水箱。

3.3.4 灭菌方法

针对五类水源的除菌要求，选择了漂白粉、分析纯次氯酸钙和陶瓷滤芯三种不同灭菌方法。为了验证三种灭菌方法的灭菌效果，进行了对比试验。

得出结论：漂白粉处理后水中杂质多；次氯酸钙处理后的水清澈，几乎无杂质；陶瓷滤芯能够实现去除细菌功能，但是容易堵塞，无法继续使用。因此，选择次氯酸钙灭菌方法。

3.3.5 陶瓷滤芯

为了满足产水量和去除悬浮物的目标要求，对市场上常见的三种过滤精度的陶瓷滤芯进行了实验分析。精度 3μm 的陶瓷滤芯产水量、悬浮物去除能力均能满足目标要求，且操作阻力小，因此选用该方案。

3.3.6 活性炭材质

活性炭对水中重金属的吸附能力取决于活性炭的孔隙结构和表面化学组成，选择了木质炭、椰壳炭和煤质炭三种材料进行实验分析。

木质炭具有最大的比表面积，其次为椰壳炭和煤质炭；椰壳炭具有最大的微孔体积，而木质炭的总孔体积最大，且其中孔、大孔体积远高于椰壳炭和煤质炭；三种活性炭的平均孔径大小顺序为：木质炭＞煤质炭＞椰壳炭，三种活性炭的平均孔径均达到了中孔的标准 [3]。

通过对比，椰壳炭具有较大的比表面积、最大的微孔体积、最小的平均孔径。因此，选取椰壳炭滤芯材料。

3.3.7 活性炭制备工艺

为了提高活性炭对重金属离子的吸附能力，我们改进了活性炭的制备工艺。根据文献资料及初步实验分析，确定 4 个制备工艺条件为主要影响因素，设计了正交实验，通过正交实验分析，小组成员确定了活性炭的最佳制备工艺。

3.3.8 阳树脂

为了保证重金属离子去除率达到目标要求，对 3 种吸附树脂进行了实验分析。经过验证，选择了一种对重金属离子吸附效率高，吸附量大的方案。

3.3.9 滤芯结构

为满足设备便携性，提出了一体式滤芯结构的方案，将多级过滤结构融合于一支滤芯，结构简单，拆装方便。常用复合滤芯的材料与本课题所选材料物理性质有一定区别，不具有直接借鉴性，一体式滤芯的制造成为本课题的创新点。

3.3.10 滤芯紧固方式

滤芯结构确定后，为了保证滤芯安装后密封性良好，对多种滤芯紧固方式进行了方案对比。通过方案分析，选择结

 DOI: https://doi.org/10.26549/gcjsygl.v5i7.6946

构简单，紧固稳定性好，拆装方便的拉杆紧固方案。

3.3.11 支架

设计了铝质折叠式、碳钢折叠式、碳钢对插式 3 种放置滤芯壳体的支架，进行了实验对比。碳钢对插式结构简单，稳定性好，拆装方便，选择该方案。

3.3.12 净水泵

根据市场调研，选择了 3 种符合使用要求的净水泵，通过方案分析和现场实验对比了 3 种泵的性能。优选出操作阻力小、密封性好、重量轻的单隔膜手动泵。

根据市场调研，对 3 款净水泵进行了方案分析和现场实验对比，最终选择的净水泵具有操作阻力小、密封性好、重量轻的特点。

4 制定对策表

根据确定的最佳方案，按照“5W1H”原则制定了如表 1 所示的对策表。

表 1 方案实施对策表

序号	项目	对策	目标	措施
1	进水系统设计	预过滤器设计制作	能拦截小颗粒泥沙，清洗更换方便。	1. 改造普通过滤布袋。 2. 设计加工制作底阀。
2	储水灭菌系统设计	确定最佳灭菌参数	最佳药物投入量和最佳灭菌时间。	1. 配置原水水样。 2. 进行次氯酸钙灭菌效果测试。
3	净化出水系统设计	1. 滤芯设计	滤芯通量≥ 1t/h，重金属离子总去除率≥ 90%。	1. 确定工艺流程。 2. 确定工艺参数。 3. 外协加工制作
		2. 过滤器外壳设计	密封性良好，滤芯紧固稳定性好。	对布袋式过滤器外壳，内部滤芯紧固结构进行改型设计加工。
		3. 支架设计	稳定性好，无工具安装，方便。	1. 根据外壳、净水泵尺寸设计支架结构。 2. 加工制作。

5 对策实施

按照实施对策表，逐一实施对策，并给出了对策实施的评价。

5.1 对策 1：预过滤器设计

5.1.1 实施过程

购买市面常用布袋，将布袋固定敞口的塑料套环取下，改装为线绳收缩结构；确定底阀尺寸，设计预过滤器结构，加工制作底阀，与改进布袋组合成为预过滤器，如图 2 所示。

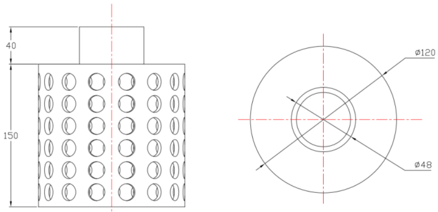

图 2 底阀结构设计图

5.1.2 对策 1 实施效果

完成了预过滤器的设计、进水系统的安装及初步实验。实验效果能满足供水通量需求，小颗粒泥沙过滤效果良好，拆装方便，清淤更换方便，实现了方案设定目标。

5.2 对策 2：测定次氯酸钙用量

5.2.1 实施过程

取中国天津牙河水 200L，向月牙河水中加入过量的次氯酸钙，静置 1h，每隔 5min 用余氯检测试纸测试余氯含量，当余氯含量稳定后，确定最佳作用时间，取若干份水样，加入不同量的次氯酸钙，静置到最佳作用时间，用试纸测量余氯含量，当余氯含量约为 5ppm 时，确定最佳投入量。

5.2.2 对策 2 实施效果

余氯含量与次氯酸钙投入时间和投入量的关系如图 3、4 所示，通过实验，得出了最佳灭菌时间为 30min，次氯酸钙最佳投入量为 10mg/L。

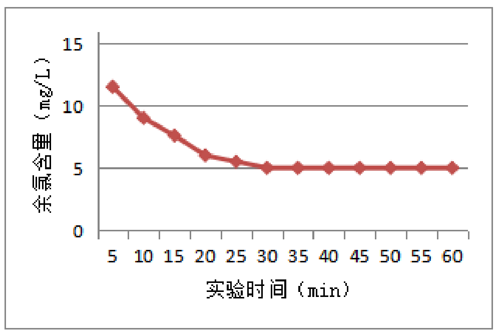

图 3 余氯含量和时间的关系

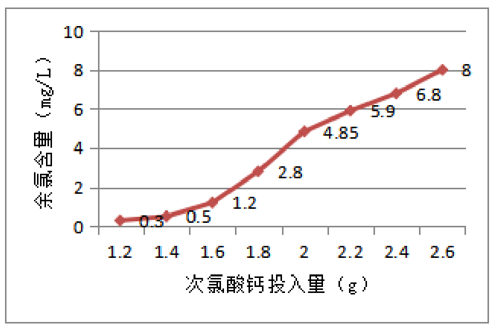

图 4 余氯含量和次氯酸钙投入量的关系

 DOI: https://doi.org/10.26549/gcjsygl.v5i7.6946

5.3 对策 3：滤芯设计

5.3.1 实施过程

确定滤芯制备工艺（陶瓷制备工艺和活性炭制备工艺），外协加工制作，进行过滤实验。

5.3.2 对策 3 实施效果

一体式滤芯参数为：精度 2μm，长度 20 寸，通量≥ 1t/h，重金属离子去除率≥ 90%，能够满足过滤指标要求。

5.4 对策 4：过滤器外壳设计

5.4.1 实施过程

对袋式过滤器外壳原有结构进行改造，改为滤芯拉杆固定式，绘制改进结构图，加工制作。

5.4.2 对策 4 实施效果

改造后的过滤器外壳壳体重量轻，拆装、搬运方便，并且密封性良好，滤芯紧固方式稳定性高，满足装置设计要求。

5.5 对策 5：支架设计

5.5.1 实施过程

根据过滤器外壳和净水泵的结构确定过滤器支架的结构和尺寸，设计为对插式结构，绘制支架结构图，加工制作。

5.5.2 对策 5 实施效果

确定过滤器支架的结构和尺寸，加工制造了外壳实物。支架结构简单，拆装、搬运方便，无需工具，稳定性好，满足装置设计要求。

6 效果检查

6.1 目标值的效果检查

6.1.1 水质指标检测

将原水水样和过滤后的式样委托“国家无机盐产品质量监督检验中心”进行检测，测结果表明，经过过滤处理，原水中的各种细菌和重金属离子均被有效地拦截掉，色度、浑浊度、臭和味、肉眼可见物等各项指标也达到了 GB5749—2006《生活饮用水卫生标准》的要求，水质指标已经达到本课题设定的目标值。

6.1.2 整机性能检测

对整机性能进行了检测，测试结果如下，便携式应急手动供水机的产水量和整机重量都达到课题设定的目标值，如表 2 所示。

表 2 整机性能检测结果

序号	检测项	目标值	测试结果
1	产水量	≥ 1t/h	1.2t/h
2	整机重量	≤ 80kg	77.6kg

6.2 巩固期效果检查

为了确认过滤效果的稳定性，从而达到对巩固期内效果的检查，在 2017 年 2 月—4 月，对水样分别进行 12 次测试，测试结果如图 5 所示。

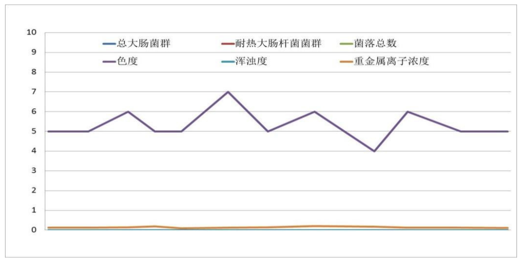

图 5 巩固期水质检测结果

由上图可知，经过 2 个月的连续运行，便携式应急手动供水机的使用效果仍然满足本课题所设定的目标值，巩固效果良好。

7 结语

本课题深入研究了应急供水工艺，成功研制了一套无燃料、无电力需求的可循环水处理体系，净化水质符合饮用水标准，模块化设计易于操作及运输，具有可靠性强、净化量大、体积小、重量轻、机动性强等优点，可适用于各类突发性自然灾害的应急救援保障。便携式应急手动供水机可以应对突发的自然灾害，保障灾区人员的生活饮用水安全。

参考文献

[1] 高健 . 振动分析技术在离心泵轴承故障诊断上的应用 [J]. 机械工程师 ,2013(06):257-258.

[2] 张琛 . 利用多种技术手段提高出水量降低电耗 [J]. 大众科技 ,2011(01):79-80.

[3] 杜勇奇 . 试论如何控制供水机泵电能消耗 [J]. 科技与企业 ,2012(10):150.