

便携式海水淡化系统设计*

向诚,余锋,彭自成,刘宇轩

(中南林业科技大学涉外学院,湖南 长沙 410211)

摘要:针对小型渔船在海上缺少电力,难以支撑起大型海水淡化设备的问题,设计一款环保型便携式海水淡化系统。该系统以智能手机为上位机控制端,以 STM32 为主控制器的海水淡化系统为下位机,利用太阳能风能发电为系统电能驱动,可实现智能控制设备、无线检测系统电量,以及 GPS 定位以防止渔船驶出经济专属区,极大地克服了长期喝蒸馏纯净水而造成微量元素缺失等弊端。实践证明,该系统能有效地降低渔民出海带淡水量,增加作业时长,提高海船的续航力和自持力等,实现运行效益的最大化。

关键词: STM32; 智能控制; 海水淡化; 太阳能风能

中图分类号: TN92

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200118

中文引用格式: 向诚,余锋,彭自成,等. 便携式海水淡化系统设计[J]. 电子技术应用, 2020, 46(11): 65–69.

英文引用格式: Xiang Cheng, Yu Feng, Peng Zicheng, et al. Design of the portable seawater desalination system[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(11): 65–69.

Design of the portable seawater desalination system

Xiang Cheng, Yu Feng, Peng Zicheng, Liu Yuxuan

(Swan College, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410211, China)

Abstract: In view of the lack of electricity for small fishing vessels at sea, it is difficult to support large-scale desalination equipment, an environment-friendly portable seawater desalination system is designed in this paper. The system uses smart phone as the control terminal, STM32 as the main controller, and solar energy and wind energy as the power drive. It can realize intelligent control of the equipment, wireless detection of system electricity, and GPS positioning to prevent fishing boats out of the exclusive economic zone, which can overcome the long-term drinking distilled pure water caused by the loss of micronutrient. It is proved that the system can effectively reduce the fresh water quantity of the fishermen, increase the working time, improve the endurance and self-sustaining ability of the ship, and realize the maximum operating benefit.

Key words: STM32; intelligent control; desalination; solar & wind energy

0 引言

众所周知,在海洋渔业活动中,所带淡水量是影响出海时长的决定性因素之一^[1]。尽管海上到处都是水,可由于海水中含盐量、杂质和细菌等都远远超过饮用水卫生标准,不能直接饮用。但“问海要水”还是出海渔业活动过程中最方便、最有效的办法^[2-3]。可现有海水淡化装置不仅碳排放量高、装置体积庞大,需要大功率电力驱动,而中小型渔船在海上缺少电力,难以支撑起这些大型海水淡化设备^[4-5]。

基于这一现状,本文设计了一款基于太阳能风能的节能环保型便携式海水淡化系统,在帮助出海渔民解决海上饮水、照明、防止驶出经济专属区等困扰的同时,实现少带淡水、多带航船驱动燃油,以及增加作业天数、延长航行距离,最终提升出海运营效益。

1 系统方案设计

为实现上述技术要求,本系统确立了以智能手机等移动通信终端为上位机、以 STM32F4 控制的海水淡化系统为下位机的二级结构,二者之间通过 WiFi 通信。其设计框图如图 1 所示。移动通信终端可通过 WiFi 远程控制系统的初始工作状态并查看系统工作过程中各检测信息。下位机包括检测与驱动系统、海水淡化系统、环保供电系统等,可实时监测蒸馏壶等封闭容器内液位、蓄电池电量、船体航行速度、光照强度及流量大小等参数,并发送到移动通信终端,同时参数也将在 LCD 显示屏上显示或直接语音播报出来;渔民还能通过 GPS 模块确定船体所处方位,避免驶出经济专属区。一旦偏离经济专属区就会语音播报具体方位并预警,同时把方位信息通过 GPRS 发给家属,以便家属不时提醒,防止意外发生。太阳能光伏板和风力全天候给蓄电池充电,蓄电池给整个系统供电。为了减少用油量和降低燃油对环境的

* 基金项目:湖南省教育厅科学项目(19C1887)

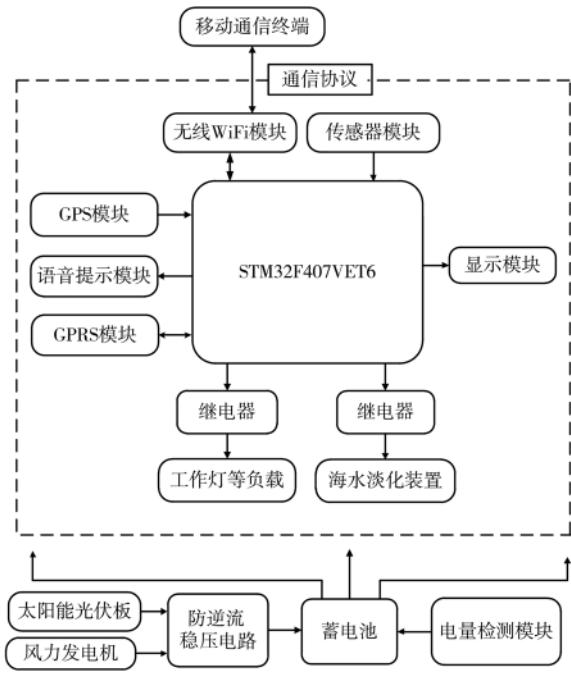


图 1 系统总体设计框图

污染,系统通过 12 V 直流电加热蒸馏的方式来淡化海水;船员生活和作业照明系统将根据环境的光照强度强弱来自动调节。

2 硬件电路设计

从图 1 可知,下位机硬件电路设计繁多。本文主要介绍电源模块、主控制器模块、继电器开关电路、电池电量检测电路和传感器检测系统等模块的设计。

2.1 主控制器电路设计

由于本系统实现功能较多,数据处理繁重、数据运算空间较宽,为此控制器选用 STM32F407VET6 芯片。该芯片是一种高性能、低功耗的基于 ARM Cortex-M4 内核的 32 位微控制器,集成有 512 KB 的片内 Flash、192 KB 的片内 RAM 等,十分适用于强干扰、数据处理要求高的场合。对其电路设计主要包括电源、复位和时钟电路三部分。

2.2 电源设计

2.2.1 供能系统设计

海上太阳能、风能资源十分丰富,但一天中太阳的光照度、风力大小有别。因此设计了风光互补发电系统,并通过防逆流稳压电路(如图 2 所示,C1、C2 为 100 μF 的滤波电容,磁珠 L1 用来修正输出端电压变化波动,

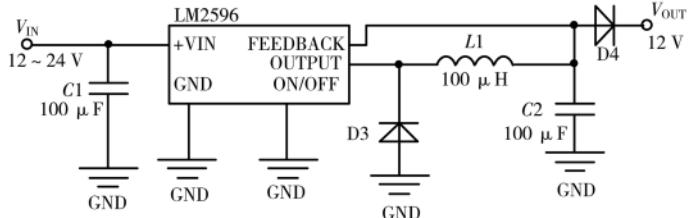


图 2 防逆流模块电路

D4 防逆流),采用快速充电方式,分时段给两块直流电压为 12 V、容量为 75 Ah 的铅晶蓄电池(该电池不存在酸雾挥发等问题,可深度放电至 0 V,充电可恢复全部额定容量)充电,以便给海水淡化系统交替供电蒸馏制水,提升制水系统的连续工作能力。为实现快速充电并考虑太阳能光伏板转换效率,选用 18 V 330 W 折叠式光伏板;而风力发电机则选用额定功率 85 W、额定直流电压电流为 12 V/4.4 A 微小型电机。淡化制水负载的耗能约为 0.5 kW·h,当每块蓄电池充满电时能提供 0.9 kW·h 的电能,为提高电池使用寿命设定 10% 的电量余,可连续制水 1.6 h 以上。

2.2.2 负载供电电源设计

为减少负载工作时相互干扰,确保 STM32 控制器与各个模块以及海水淡化系统、照明灯等负载的稳定工作,在 2 块 12 V 75 Ah 蓄电池之外,增设 2 块额定容量为 12 V 8 Ah 的蓄电池来给其他负载分类供电。电路设计如图 3 所示。其中,一块容量为 8 Ah 的蓄电池经过 LM2596s 和 ASM1117 稳压、滤波后输出 5 V 和 3.3 V,给 STM32 主控制器、GPS 模块、LCD 显示屏、WiFi 模块和各种传感器供电。另一块的输出分两路:一路经过 LM2596s 稳压、滤波后输出 5 V,给 GPRS 模块供电;一路直接给音频模块 TDA7297 供电。而额定容量为 75 Ah 的 2 块蓄电池只交替给蒸馏装置的加热器、照明灯、水泵等负载供电。

2.3 继电器开关电路设计

因有大电流工作负载,需采用继电器组做开关,其电路如图 4 所示。K1~K3 控制蒸馏壶中 5 个 100 W 加热

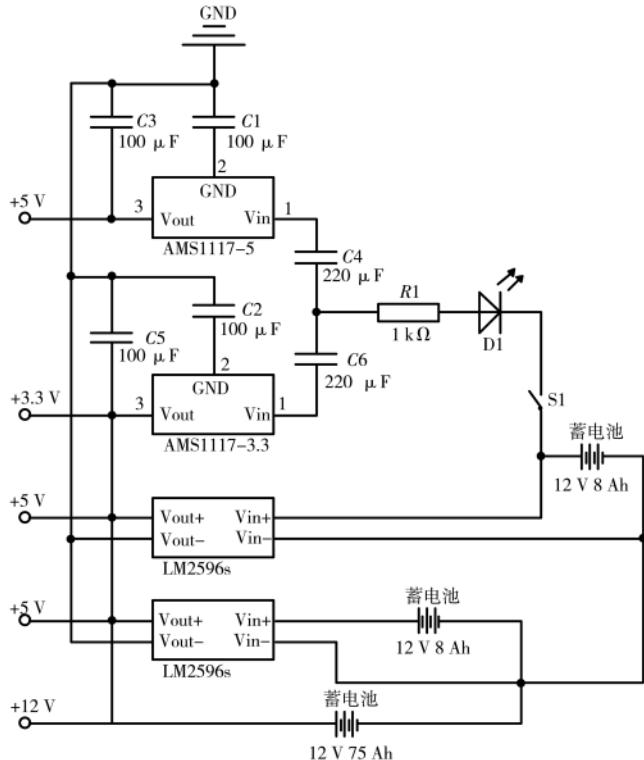


图 3 电源电路设计

测控技术与仪器仪表

Measurement Control Technology and Instruments

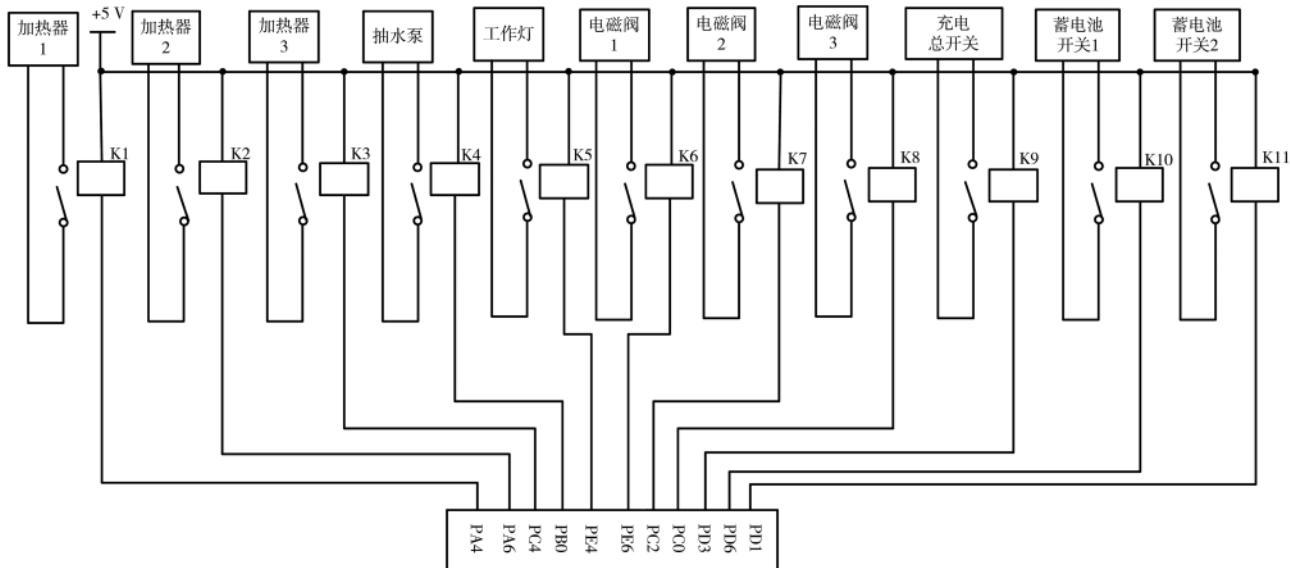


图 4 开关电路设计

棒 , K4 控制抽水泵 , K5 控制工作灯 , K6~K8 控制蒸馏壶、余热交换器和麦饭石浸泡槽外接水管通断电磁阀 , K9 控制总充电开关 , K10~K11 控制 2 块 12 V 75 Ah 蓄电池。当 STM32 收到移动端发送来的命令或各传感器检测数据达到设定阈值时 , 向对应继电器发出高低电平 , 驱动继电器打开或闭合 , 从而控制负载和蓄电池等相关功能模块的工作状态。

2.4 电池电量检测电路设计

为防止 75 Ah 的蓄电池电量过高或过低(本系统设定电留量为 10%, 高于 98% 以上为高电量)而影响正常工作 , 系统设计了蓄电池电压测量电路 , 以实时监测电池电量。若电量过高 , 切断太阳能、风能供电 ; 若一块电池电量过低 , 另一块电池实时交替供电。电路设计如图 5 所示 , 电路中 R_1 与 R_2 分压 , A 点与 STM32F4 的 PA0 相连 , 利用 ADC 转换测量出模拟量 K , 根据式(1)系统自动测算出蓄电池的电压值并做出判断。

$$U_s = \frac{R_1+R_2}{R_1} \times U_A = \frac{R_1+R_2}{R_1} \times (K \times \frac{3.3}{2^{12}}) \quad (1)$$

2.5 传感器电路设计

2.5.1 光照传感器电路设计

为使照明系统能根据环境的光照强度自动开关并调节灯光亮度 , 系统采用 BH1750 模块来检测海上作业环境的光线强度数。该模块与 STM32F4 采用 I²C 进行通信 ,

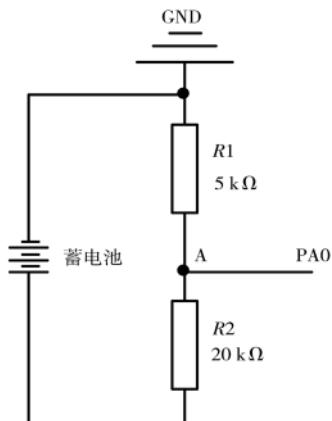


图 5 电量检测电路设计

BH1750 的 4 脚与 STM32F4 的 PB6 连接 , 6 脚与 STM32F4 的 PB7 连接。

2.5.2 液位传感器电路设计

本文采用 2 组共 3 个 XKC-Y25-V 型传感器来检测蒸馏壶和余热交换器中的液位。安放在蒸馏壶 0.5 L 与 1 L 液位处的是第一组 , 主控制器根据这一组检测结果来控制微型水泵工作状态 : 当壶中的液位低于 0.5 L 时 , 开启水泵向壶中注入预处理过的海水 ; 当壶中的海水达到 1 L 时 , 水泵停止工作。该组传感器的输出引脚分别与 STM32F4 的 PC6 、 PC7 脚连接。另外一组安放在余热交换器满水位处 , 若检测到水满 , 则关闭余热交换器残液入口(即蒸馏壶残液排出口 , K5 控制)电磁阀 , 同时打开余热交换器残液出口(K6 控制)电磁阀。该组传感器的输出引脚分别与 STM32F4 的 PC8 脚连接。

2.5.3 水流传感器电路设计

当余热交换器排放蒸馏残液、麦饭石浸泡槽排放矿泉水时 , 需要水流传感器来判断排放是否完毕。若检测到的数值为 0 或低于设定值 , 则排放基本完成 , 主控制器通过电磁阀在关闭排放口的同时允许蒸馏壶向交换器注入高温残液或蒸馏壶向浸泡槽注入蒸馏水。为此 , 设计了两组水流传感器来测排水量。水流传感器采用 YFS201 型高精度水流量传感器 , 其输出引脚分别与 STM32F4 的 PB0 和 PB3 脚连接。

3 海水淡化系统

海水含盐量、含沙量高、各种污染物多。从海上汲取上来的海水先要经砂布袋过滤预处理后再注入海水槽中。当蒸馏壶上的液位传感器检测到壶中的液体等于或低于 0.5 L 时 , 主控制器一方面驱动抽水泵工作 , 将预处理后的海水经含有活性炭的过滤瓶(以除去微生物等)过滤、余热交换器预加热后注入蒸馏壶 ; 当壶中的水达

测控技术与仪器仪表

Measurement Control Technology and Instruments

到 1 L 时,自动切断水泵电源,并同时给蒸馏壶下端的直流加热棒上电,以热蒸馏的方式获得纯净的蒸馏水。另一方面以 4 次切断水泵工作电源为一周期对停止水泵工作次数进行计数。在一周期内的第 4 次切断电源后若再次检测到壶中的液面等于或低于 0.5 L,“蒸馏壶余温残液出口”电磁阀打开一次,把壶中的余液注入余热交换器给待蒸馏海水进行预热处理,降低加热棒的能耗;当液位传感器检测到壶中的液面等于 0 或低于设定值时关闭阀门,并再次启动抽水泵给蒸馏壶注入待蒸馏海水。余热交换器一旦注满蒸馏后的余液,就通过交换器下端的“残液排出口”排出海水淡化副产品(浓海水),易晒得粗海盐。

考虑到长期喝蒸馏纯净水会造成人体微量元素缺失,本系统设计了矿物质添加设备。纯净蒸馏水沿着蒸馏器内壁上蒸馏水收集凹槽流入装有经热改性的中华麦饭石浸泡槽,经过对该石 1 h 的浸泡,K8 控制麦饭石浸泡槽出口电磁阀打开,把已转化成优质的矿泉水排入矿泉水槽。海水淡化系统的结构示意图如图 6 所示。

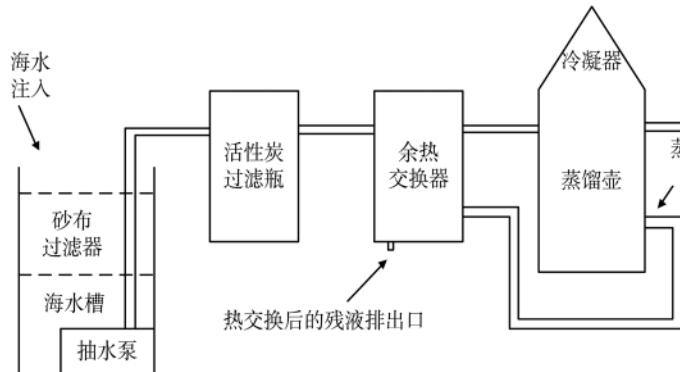


图 6 海水淡化系统框图

3.1 余热交换器设计

余热交换器的设计如图 7 所示,是一个长 30 cm、直

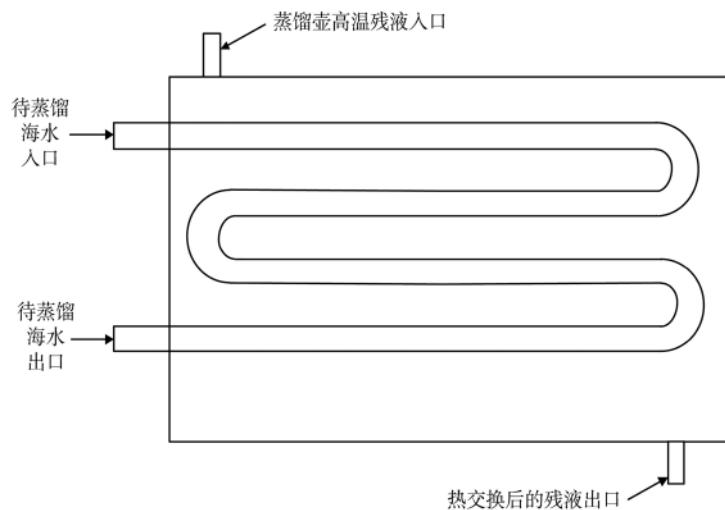


图 7 余热交换器设计示意图

径 20 cm 的双层真空的封闭式保温容器。在余热交换器内待蒸馏海水通过导热金属水管与高温蒸馏残液进行热交换。为提高热交换效率,导热金属水管以 S 形多层次铺设在交换器中,提升热交换接触面^[6]。

3.2 蒸馏器设计

蒸馏器设计示意图如图 8 所示,主要包括:一个高度为 20 cm、直径为 10 cm 的双层真空隔热不锈钢蒸馏壶;一个直径为 10 cm、高 5 cm 的双层圆锥型加固态冷凝器;一个边高 1.2 cm、与水平面倾斜 8° 的圆环型蒸馏水收集凹槽,该槽沿蒸馏壶内壁焊在蒸馏壶与冷凝器衔接处下方 2 cm 处;5 根 12 V 100 W 的加热棒以并联形式固定在壶下端;并在壶体上开设了一进水口和两个排水口。

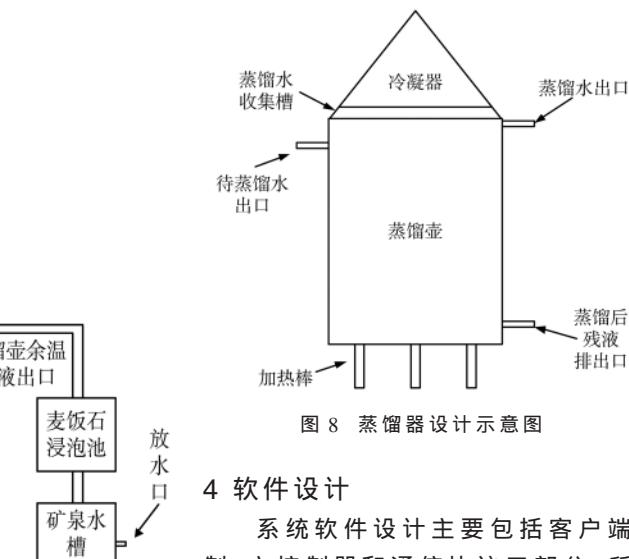


图 8 蒸馏器设计示意图

4 软件设计

系统软件设计主要包括客户端控制、主控制器和通信协议三部分,所有源代码均采用 C 语言及结构化的设计方法。本文仅介绍主程序和客户端软件开发。

4.1 系统主程序设计

在本系统中,上位机主要用来远程开启系统、显示和查看系统工作过程中各检测参数,完成与家人通信;下位机完成海水淡化系统各功能模块参数检测、运算处理、监控,在往上传送检测数据的同时将参数在 LCD 上显示、直接语音播报出来,并根据监测结果及来自上位机的命令驱动各功能模块执行对应操作。上、下位机间的通信媒介是 WiFi。由于系统监控电池电量、液位、流量等众多参数,中断服务程序较多,系统主程序设计十分复杂。图 9 流程是未考虑众多中断情况下数据控制流向,它反映的是海水淡化系统在上位机、监控参数的驱动下完成各功能操作的基本情况。

4.2 Android 客户端的开发

Android 是由谷歌公司开发的移动智能终端操作系统,是一套具有开源性质的手机终端解决方案,无偿提供给用户免费使用^[7],本文不再叙述上

测控技术与仪器仪表

Measurement Control Technology and Instruments

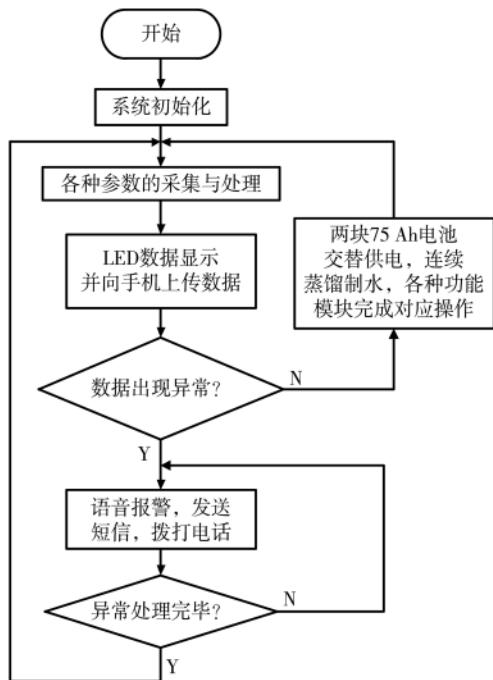


图 9 主程序的流程图

位机 Android 平台的具体软件设计流程,只概述其设计任务。对控制端的软件设计主要包括三方面:(1)建立 Socket 网络,实现手机端和无线路由器间的双向连接,即往手机端传送检测数据,通过 WiFi 向 STM32 发送操作指令;(2)在主界面上设计 6 个虚拟按键,用于手动远程操控本系统的工作;(3)解决主、子线程的兼容性问题,能正确显示各传感器检测到的文本参数。

5 调试结果

经对系统的联调、测试,该海水淡化系统能准确地检测各参数信息,并实时地在 LCD 上显示和进行参数语音播报,无线通信模块工作正常。以日照时间 9 h/d 计算,两个 75 Ah 电池交替连续供电蒸馏,一天可提供 70 L 以上溶解性总固体(Total Dissolved Solids, TDS)含量<50 mg/L、PH 稳定在 7.9 左右、Cu 含量<0.365 mg/L、Mn 含量<

0.098 mg/L、Zn 含量≥0.566 mg/L、Pb 含量<0.006 mg/L 的优质纯净矿泉水(饮用天然矿泉水标准指标:Cu 含量<1.0 mg/L、Mn<0.4 mg/L、Zn≥0.2 mg/L、Pb<0.01 mg/L^[8])。本系统整个设备重量不足 78 kg(不包括光伏板的重量)。调试结果如图 10~图 12 所示。

6 结论

本系统集风、光伏、储、海水淡化于一体,便携、无污染、低能耗,若对本系统稍做改进,即可应用于各种荒岛海水制淡、生活废水和工业废水的净化以及登山和徒步涉野活动时对野外水资源的净化处理等。

参考文献

- [1] 李哲.船用海水淡化装置设计实例与运行测试[J].工业水处理,2018,38(8):105–108.
- [2] 李星,周书民,汪志成.基于静电雾化太阳能海水淡化装置的设计[J].电子质量,2019,382(1):34–36.
- [3] 翟永革,于宗松.远海港口反渗透海水淡化装置及电控系统[J].盐科学与化工,2019(1):46–52.
- [4] 魏凡森,吴婉茹,胡家骏.船用海水淡化装置的发明研究[J].仪器仪表用户,2018,25(4):22–24.
- [5] 潘春佑,靳少培,李露,等.集装箱式反渗透海水淡化装置设计要点[J].盐科学与化工,2017(10):29–32.
- [6] 张铭,冯厚军,吕庆春.传热管外液体流动数值模拟研究[J].化学工业与工程,2011(3):54–57.
- [7] 向诚,谢峰粹.基于 WiFi 和 Android 的智能探测车设计[J].电子技术应用,2013,39(12):82–85.
- [8] GB8537–2018,食品安全国家标准饮用天然矿泉水[S].2018.

(收稿日期:2020–02–21)

作者简介:

向诚(1973–),通信作者,男,硕士,副教授,主要研究方向:检测技术与自动化控制,E-mail:1285439290@126.com。

余锋(1998–),男,本科,主要研究方向:嵌入式应用与设计。

彭自成(1999–),男,本科,主要研究方向:嵌入式应用与设计。

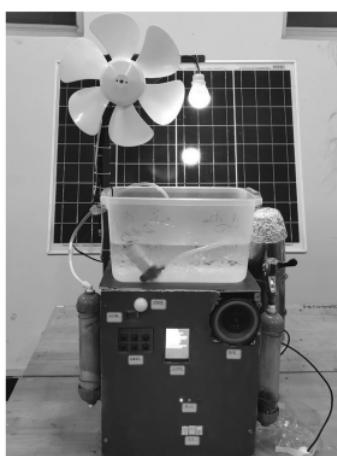


图 10 实物图



图 11 网络连接与 UI 界面



图 12 室内测试文本参数显示

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所