周旭，颜宏利. 基于单片机的智能液氮罐锁盖设计[J]. 智能计算机与应用，2025，15(4)：165-170. DOI：10.20169/j.issn.2095-2163.250423

基于单片机的智能液氮罐锁盖设计

周 旭[1]，颜宏利[2]

（1 上海理工大学 健康科学与工程学院，上海 200093；2 海军军医大学第一附属医院生殖医学中心，上海 200433）

摘 要：为实现优化生殖医学中心及精子库配子和胚胎的集中化、安全化管理，本研究采用物联网技术和温度、液位检测等技术，通过温度传感器、液位传感器、光照传感器以及 WiFi 通信，基于传统液氮罐，设计了用于数字化管理液氮罐内部样本的液氮罐罐盖，可实现数据的实时监测和报警，并能够将数据通过通信接口传输到电脑中。该液氮罐智能锁盖的设计具备操作简单、性能安全等特点，适用于各生殖中心对患者配子和胚胎的冷冻及管理，从而提高胚胎保存的存活率，极大减少病患进行辅助生殖的成本。精子库作为生物样本库的一种，该设计也为数字化生物样本库的构建提供了坚实基础。

关键词：单片机；物联网；液氮罐；配子冷冻

中图分类号：TP368；R318.52 **文献标志码**：A **文章编号**：2095-2163(2025)04-0165-06

Design of intelligent liquid nitrogen tank based on single-chip computer

ZHOU Xu[1], YAN Hongli[2]

(1 School of Health Science and Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2 Center for Reproductive Medicine, the First Affiliated Hospital of Naval Medical University, Shanghai 200433, China)

Abstract: In order to realize the optimization of reproductive medicine center and sperm library game and embryo centralization, safe management, using the Internet of Things technology, temperature, level detection technology and WiFi, through temperature sensor, level sensor and light sensor communication, based on the traditional liquid nitrogen tank, the paper designs liquid nitrogen tank cover for the digital management of liquid nitrogen tank samples, which can realize the real-time data monitoring and alarm, and transfer the data to the computer through the communication interface. The design of the intelligent lock cover of the liquid nitrogen tank has the advantages of simple operation and safety, which is suitable for the freezing and management of gametes and embryos in various reproductive centers, so as to improve the survival rate of embryo preservation and greatly reduce the cost of assisted reproduction for patients. As a kind of biobank, this design also provides a solid foundation for the construction of digital biobank.

Key words: single-chip computer; Internet of Things; liquid nitrogen tank; gamete freezing

0 引 言

液氮被广泛地应用于冻存细胞及生殖医学等临床医学领域中[1]，很多材料的处理及样本保存都需要极低的温度环境，作为常压下温度为-196 ℃的液氮则被需求用来充当程序化冷冻和玻璃化冷冻的媒介[2]。随着辅助生殖技术的发展，为了降低配子因老化而导致的复苏率、受精率低的影响，玻璃化冷冻技术成为了解决这一问题的方案[3]。玻璃化冷冻技术是将配子及胚胎放于冷冻保护剂中处理后，将其放于冷冻载体的正确位置再直接投放于液氮中，并长期放在液氮罐内保存，这一方法目前已大范围应用在各地医院的生殖中心或计生所[4]。然而液氮罐内液氮一旦补充不及时使得液位低于样本，或是液氮罐真空度泄露，将直接导致罐内温度快速上升，从而打破了细胞所处的玻璃化状态，使配子和胚胎造成不可逆的损伤。谢敬田[5]研究发现，随着时间推移，液氮储存罐内的液氮液面下降，该区域的温场特性会更差，温度会更高，不利于样品的长期保存。同时有相关研究表明[6]，在罐内失真空后 26 h

基金项目：军队后勤重点项目（BKJ21J007）。

作者简介：周 旭(1997—)，男，硕士研究生，主要研究方向：嵌入式系统，配子冷冻。

通信作者：颜宏利(1973—)，男，博士，教授，博士生导师，主要研究方向：消化道肿瘤分子诊断与个体化治疗，遗传病基因诊断。Email：13321805629@163.com。

收稿日期：2023-09-25

内温度迅速上升,对精子损伤影响较小。但是卵母细胞和胚胎对温度极为敏感,当罐内温度上升至-63 ℃时,卵母细胞与胚胎受到的损伤不可逆转。因此,加强监测液氮罐内液氮的温度、液位和挥发量,保证液氮罐内配子及胚胎的安全,是冷冻保存的关键环节,但是目前尚缺少对液氮罐内液氮参数进行实时监测的研究。

本研究试图设计一款用于精子库管理的智能液氮罐,该液氮罐可以实时监测罐内的温度、液位,同时配备报警系统。液氮罐顶部配备 OLED 显示屏和按键,可以实时显示时间、温度和液位,旨在简化医护人员对液氮罐的操作和管理,由此确保生殖中心的配子样本库能够得到更高效、安全的保存。

1 总体方案设计

在本系统的设计中包括 AT89C52 单片机主控模块、超声波液位检测电路、OLED 液晶显示模块、ESP01S 无线模块、光照强度传感器模块、DS1302 采集电路、蜂鸣声光报警电路、电磁锁、矩阵按键等。系统结构如图 1 所示。

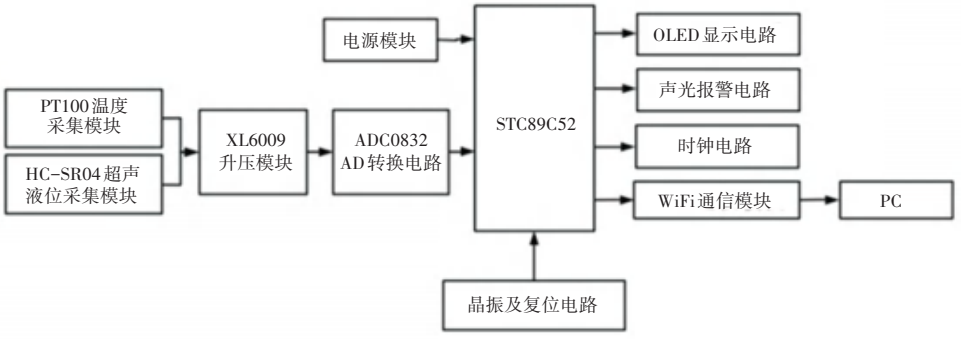

图 1 系统总体设计框图

Fig. 1 Block diagram of the overall system design

按键功能可以设置密码锁、输入密码,通过控制电磁锁的开闭控制液氮罐锁盖的开闭;PT100 热敏传感器采集液氮罐内样本存放处附近的温度,温度高于设定值-160 ℃时报警;超声液位传感器通过发射超声波进行液氮液位的实时监测,液位低于设定值 30 cm 时报警;用可更换 3 000 mA 的 18650 锂电池进行供电,并在电池电压低于 3.4 V 时报警。

2 硬件设计

2.1 主控模块设计

主控模块选用的是 TEJIATE 品牌 DIP-40 封装的 STC89C52RC 单片机,除了具有容量大、性能高、功耗低的特点外,还有强大的定时器可以实现多种计数定时功能和以及连接丰富的外设,包括 ADC、PWM 等,是一款具备多种功能、高性能的 8 位微控制半导体。本设计的具体管脚分配如图 2 所示。

图 2 中,管脚 4 和 5 对应超声波液位检测器的 Trig 和 Echo,以此来测定罐内液体液位;管脚 6 和 7 连接光照强度传感器 BH1750 的 SCL 端及 SDA 端,通过光照传感器调节 OLED 显示屏亮度;管脚 11 连接无线模块 ESP-01S 的 RX 端,通过无线模块实现数据在电脑端的交互;管脚 15~17 模数转换芯片 ADC0832 的 CS 端、CLK 端和 DO 端,将模拟信号转化为数字信号,同时利用其采集电池电压;管脚 34 连接型号为 LY011A 的微型电磁锁基极端,通过“通电缩回、断电弹出”的工作模式控制液氮罐罐盖的开关;管脚 36~39 连接热敏电阻至数字输出转换器 MAX31865 的 CLK、SDO、SDI 和 CS 端,MAX31865 采用带有 RTD 故障检测、输入电压保护的数字温度读取和高精度数据转换[7],支持 0 ℃时电阻阻值为 100 Ω 至 1 kΩ 的铂电阻 RTD ,本设计采用 PT100 温度传感器。

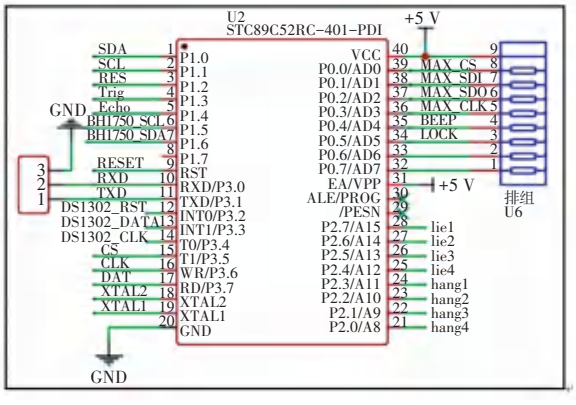

图 2 主控图

Fig. 2 Master control diagram

2.2 电源及升压模块

为给液氮罐锁盖单片机持续供电,本设计选用 3 000 mA 的 18650 锂电池作为供电电池,XL6009 模

块作为升压模块。电源模块电路如图 3 所示。图 3 中，18650 标称电压为 3.6 V，当充满电时为 4.2 V，电压 3.2 V 以下视为电池电量用尽，因此当电压降到 3.4 V 时，蜂鸣器 BUZ1 会报警，此时可进行电池更换。同时为实现稳定供电，用升压模块 XL6009 将电压升至 5 V 为单片机及其他模块供电[8]。

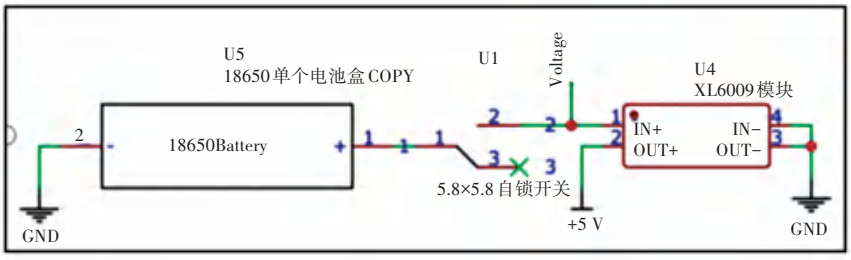

图 3　电源模块电路图

Fig. 3　Circuit diagram of the power supply module

2.3　温度传感器模块

温度传感器模块由 RTD 铂电阻至数字转换器 MAX31865 和温度传感器 PT100[9] 组成，采集电路如图 4 所示。外部电阻设置 RTD 灵敏度，高精度 Δ−ΣADC 将 RTD 电阻与基准电阻之比转换为数字输出，支持 0 ℃时阻值为 100 Ω 至 1 000 Ω 的铂热电阻，此处选用 PT100。

常压下，液氮温度约为−196 ℃。选用的上海佳敏仪表有限公司生产的升级版铂热电阻 PT100，温度测量范围为−200 ℃～550 ℃，探头尺寸 4×30 mm，探头材质为 316L 不锈钢材质，具有耐超低温、耐高温、防腐防水的特性，因此可以满足对液氮温度的测量。

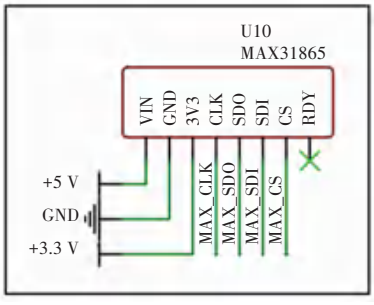

图 4　温度采集电路图

Fig. 4　Temperature acquisition circuit diagram

2.4　超声液位传感器模块

对于液氮液位的检测，采用超声测距可以避免与液氮接触，在保证安全工作温度的同时避免了与液氮内样本发生交叉污染的风险[1]。HC−SR04 超声测距模块如图 5 所示，其工作电压为 5 V，精度可达到 3 mm。同时可提供 2～400 cm 的非接触式测距，本设计应用的 47 L 液氮罐整体罐高 71.8 cm，因此满足测量要求。

HC−SR04 内部包括超声波发射器、接收器与控制电路。其中，I/O 口连接 Trig 输入触发信号可以触发测距，经过至少 10 μs 的高电平后即可发送超声波，超声信号接触液面后沿原方向相反方向返回。若接收到信号，经内部电路处理后通过 Echo 到 I/O 口输入一个高电平，高电平持续的时间就是超声波从发射到返回的时间，Echo 传出信号回响可以传回时间差，以 s 为单位。测量距离可由下式求出：

$$D = (T_H \times 340)/2 \tag{1}$$

其中，D 表示测量距离；T_H 表示高电平时间；340 表示音速，单位为 m/s。将该模块安装在液氮罐顶部，因此可推得：

$$H_L = H_T - D \tag{2}$$

其中，H_L 表示液位高度；H_T 表示罐体高度；D 表示测量距离。

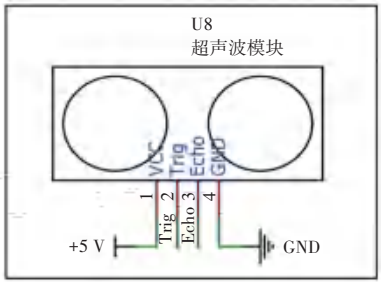

图 5　超声液位检测模块电路图

Fig. 5　Circuit diagram of the ultrasonic liquid level detection module

2.5　A/D 转化模块

选用的 A/D 转换模块芯片型号为 ADC0832。这款芯片具有单端输入和差分输入两种工作模式，且拥有 8 位分辨率，可将 PT100 和超声波液位传感器采集的模拟量转化为数字量，能够满足本系统模数转换需求[10]。同时用 ADC0832 还可以对锂电池容量电量进行检测，当电池电压低于 3.2 V 时蜂鸣器报警。具体电路如图 6 所示。

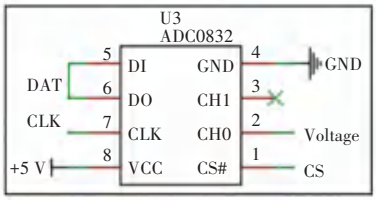

图 6 ADC0832 模块电路图

Fig. 6 The ADC0832 module circuit diagram

2.6 无线模块

为了确保能在 PC 端实时观测温度液位等数据从而了解液氮罐的工作情况,本系统的设计实现满足了远程监控的要求。WiFi 模块选用 ESP-01S 芯片,该模块采用 DIP-8 封装,支持接口 UART/GPIO,串口速率默认 115 200 bps,可快速进行数据传输,完全满足本系统的设计要求及用户需求[11]。无线模块电路如图 7 所示。

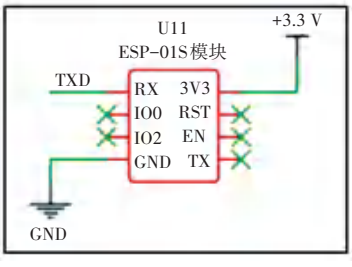

图 7 无线模块电路图

Fig. 7 Wireless module circuit diagram

2.7 光照传感器及 OLED 显示模块

采用 2.438 cm 的 OLED 屏(0.96 in)作为本系统设计的显示模块,限定的像素规格为 128×64,本设计在 OLED 上可显示实时年月日时分以及电池电压,也可显示输入密码和更改密码等操作;选用 BH1750 作为光照强度传感器(如图 8 所示)检测光强,以此来对 OLED 显示亮度进行调整,根据手机屏幕调光原理,当周围环境过亮时,OLED 亮度增强;相反环境过暗时,OLED 显示亮度降低,以适应人眼及环境[12]。

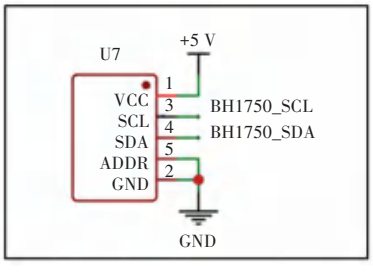

图 8 光照强度传感器电路图

Fig. 8 The circuit diagram of the light intensity sensor

2.8 电磁锁模块

电磁锁主要实现液氮罐锁盖的开关闭合,选用 LY011-A 的电磁阀,应用电动开关,通电后锁舌缩回,断电后锁舌弹出,且通电时间应小于 3 s,因此在此设置通电 2 s 后断电。电磁锁电路如图 9 所示。

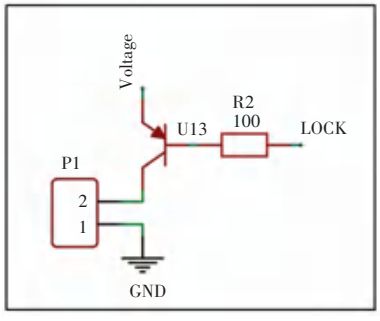

图 9 电磁锁电路图

Fig. 9 The electromagnetic lock circuit diagram

3 软件设计

本系统软件设计部分采用模块化方案,由主程序 main、超声检测模块子程序 srf04、光照检测模块子程序 bh1750、延时模块子程序 delay、时钟模块子程序 ds1302、按键扫描模块子程序 key、显示模块子程序 oled、模数转换及电压采集模块子程序 adc0832、温度采集模块子程序 max31865、无线通信模块子程序 esp8266 组成,主程序流程如图 10 所示。所有程序部分均在 Keil 5 上编译通过。

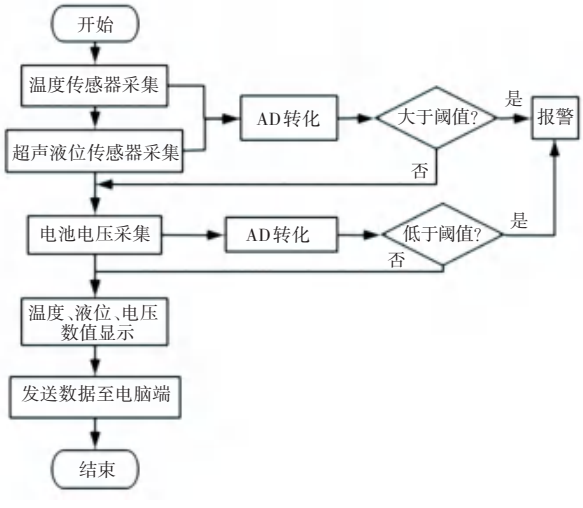

图 10 主程序流程图

Fig. 10 Flow diagram of the main program

3.1 主程序变量定义

主程序中对部分变量的类型和含义规定见表 1。

表 1　变量定义

Table 1　Variable definitions

变量定义	变量名称
4 位新密码	Num_Password_New[4]
4 位旧密码	Num_Password_OLD[4]
温度报警值	Temp_Alarm
液位报警值	Distance_Alarm
温度蜂鸣器报警标志位	Temp_Beep_Flag
液位蜂鸣器报警标志位	Distance_Beep_Flag
电压低蜂鸣器报警标志位	Voltage_Beep_Flag
输入密码标志位	Password_Num
连续读 BH1750 内部数据	Multiple_Read_BH1750
初始化 BH1750	Single_Write_BH1750
从 DS1302 读出时钟数据	ds1302_read_time
OLED 显示数值	OLED_ShowChar
OLED 显示字符串	OLED_ShowString
获取电压	Get_Voltage

3.2　液氮罐锁盖程序设计

为保证样本库内生物样本的安全性，不仅应在进出库处搭建安全系统，还应保证库内系统的每个设备都具备相应安全性。因此本设计对液氮罐罐盖用电磁阀设置电子密码锁，只有正确输入四位数密码锁，电磁阀才会弹开锁舌 2 s，若连续输错 3 次密码则会触发报警；更改密码只能在正确输入密码的前提下进行，更改流程如图 11 所示。

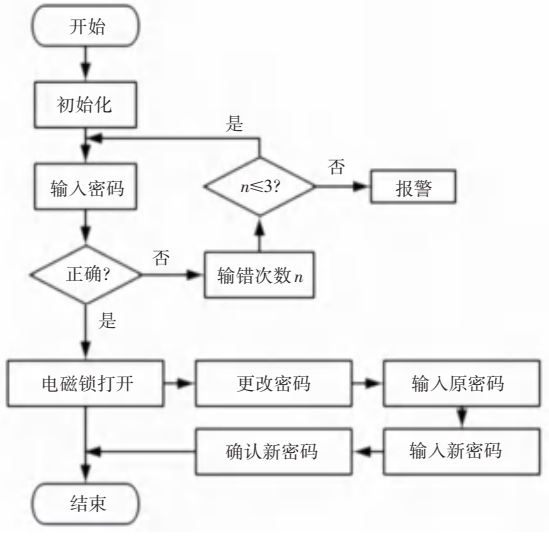

图 11　密码开锁及密码更改流程

Fig. 11　Flowchart of password unlocking and password change

3.3　单片机无线通信流程

生物样本库的搭建需要通过物联网对库内所有设备进行监管[13]，因此有必要对库内设备的工作状态进行监测。这里就需要借助物联网和无线通信模块进行单片机与电脑端的数据交互。无线通信流程如图 12 所示。

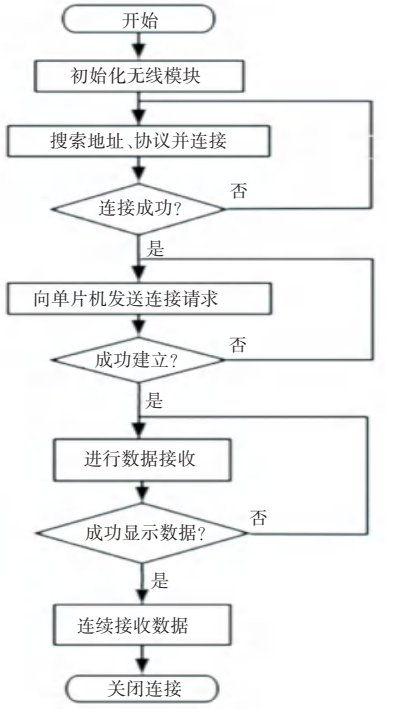

图 12　无线通信流程

Fig. 12　Flowchart of wireless communication

4　实物测试

4.1　硬件电路焊接

准备电路板焊接所需材料和工具，按照液氮罐锁盖设计整体电路原理图在板上进行焊接，确保所有焊接点稳固不脱落。全部元器件及电路焊接实物如图 13 所示。

图 13　焊接实物图

Fig. 13　Welding physical drawing

4.2　程序烧录

程序烧录即把在 Keil5 中写好的程序通过 stc-isp 软件下载到单片机的储存器中，主要步骤为：打开 Keil 及 stc 软件→连接设备接口→选择烧

录模式→加载代码→重置装置→设烧录参数→开始烧录→程序启动烧录→烧录成功。stc 软件右下角小窗显示烧录“操作成功!”表示程序已成功写入单片机,接下来即可打开单片机电源进行调试。

4.3 系统运行调试

接通电源后,最小系统电源指示灯点亮,OLED 屏幕显示“ESP-01S INIT…”后显示实时时间、温度和液位,切换界面后电压和光照数值也正常显示,上述数据经验证后均在标准值误差以内。测试显示结果如图 14、图 15 所示。

图 14 显示界面 1

Fig. 14 Display interface 1

图 15 显示界面 2

Fig. 15 Display interface 2

5 结束语

本文以海军军医大学第一附属医院军人精子库的搭建为背景,设计了一套使用 STC89C52RC 单片机并搭配温度、光照、超声液位传感模块构成的智能液氮罐锁盖管理系统。该系统可对罐内液氮的温度、液位进行实时监测,能够有效预防液氮补充不及时以及液氮罐罐体失真空等问题,从而达到保护罐内配子和胚胎的目的。通过改进的液氮罐冻存配子和胚胎,可以保证使用安全、非接触测液位、无污染,同时测量精度高、量程范围大、结果读取直观,也能够保证医护人员可快捷、准确、省力、安全地获取液氮罐内液氮的液位数据,了解液氮罐内液位的高低,在各类科研任务中实用性较强。

人类遗传资源是支撑生物医学研究快速发展的有力保障,是促进转化医学研究的基础[14]。物联网作为计算机的第三次科技产业革命,被视作确立未来社会中信息相关竞争优势的关键[15]。

目前,国内生物样本库的搭建仍处于初步阶段,液氮罐作为样本库中必需的基础设备应作为主要点进行突破,以达到由点到面的效果。智能液氮罐下一步研究的着力点和角度仍有很多:对存取样本信息的登记,同时建立使用者账户,开锁前进行用户登记,对存取样本的提桶和信息进行登记;在电脑上建立生物样本库系统网站,将液氮罐信息纳入网站内实现管理端监管,在管理页面中实现罐体“可视化”;亦可使用指纹开锁系统或者人脸识别系统代替电子锁密码从而简化开锁流程。核心研究及相关产业的发展会在未来的转化医学领域展现出广阔的应用前景和价值潜力。

参考文献

[1] 王丽,王萍,马剑峰. 新型液氮罐超声液位测量显示装置载护理工作中的应用[J]. 护士进修杂志,2011,26(4):378.
[2] 于晓光. 程序化冷冻和玻璃化冷冻技术实用性的对比研究[D]. 石家庄:河北医科大学,2017.
[3] 王瑶,狄文. 卵子冷冻技术的应用进展[J]. 上海交通大学学报(医学版),2013,33(8):1171-1175.
[4] 徐利,葛凤菊,黄亚. 玻璃化冷冻技术的应用及研究进展[J]. 现代妇产科进展,2018,27(1):75-78.
[5] 谢敬田. 液氮存储罐液相区温度特性研究[J]. 中国计量大学学报,2019,30(4):400-404.
[6] 莫房德,姚妮,公方强,等. 液氮罐失真空对配子和胚胎冷冻保存效果的影响[J]. 中国计划生育和妇产科,2023,15(2):62-65.
[7] 李文钦,钟益民,方挺. 基于 MAX31865 的高精度高炉冷却壁水温差监测系统设计[J]. 兰州工业学院学报,2020,27(6):62-66.
[8] 吴兴洲,周明珠,李家旺. 基于 XL6009 开关升压稳压电源的设计[J]. 电子世界,2014(5):135.
[9] 刘建生,杨超. 基于 Pt100 铂电阻的液氮灌温度记录仪设计[J]. 实验室研究与探索,2021,40(12):88-91.
[10] 吴立军,张然然,潘东旭. 基于单片机的酒精检测系统设计[J]. 科技创新与生产力,2023,44(6):85-87.
[11] 舒秀兰,郑旭彬,李泽森,等. ATGM336H+ESP01S 的室内定位系统设计[J]. 电子世界,2021(2):184-185.
[12] 周兴达,韦焱文,刘洁,等. 基于单片机的环境检测与自动调节系统设计[J]. 电子设计工程,2022,30(2):110-114.
[13] 芦慧敏,王岩,陈聪,等. 生物样本库信息管理系统的建设与应用[J]. 重庆医学,2023,52(14):2211-2214.
[14] 秦文静,郑颖,杨仙荷,等. 综合性医院生物样本库建设的实践与探索[J]. 现代医药卫生,2023,39(9):1599-1602.
[15] 王钊,赵跃然,曹永芝. 基于物联网的大型生物样本库全流程管理[J]. 转化医学杂志,2018,7(6):350-353.