

# 多材料生物 3D 打印设备气压控制系统设计

崔 濛<sup>1,2</sup>, 汤 浩<sup>2,3</sup>, 杨 帅<sup>2,3</sup>, 施建平<sup>2,3</sup>

(1.扬州大学机械工程学院,江苏 扬州 225127)

(2.南京师范大学,江苏省三维打印装备与制造重点实验室,江苏 南京 210023)

(3.南京师范大学电气与自动化工程学院,江苏 南京 210023)

[摘要] 为满足多材料生物 3D 打印一体成型的应用需求,需对多路材料喷射挤压系统进行精确的气体驱动。基于此,本研究设计并制作了一种基于比例调节阀的气压控制系统。系统通过触摸屏进行气压设定,利用单片机对设定值进行处理并传输给比例调节阀进行气压调节,再利用气压传感器采集模块进行数据采集,并通过串口屏进行实时气压显示。该系统通过设计相关处理电路,编写数据处理算法,可实现对工作状态下喷头气压的精确调节和监控。测试表明,所设计的多路气压采集系统,既可满足多材料生物 3D 打印系统的气压监控要求,同时也可对相关实验平台或控制设备提供良好的显示接口解决方案。

[关键词] 单片机,比例调节阀,3D 打印,串口触摸屏

[中图分类号] TP23 [文献标志码] A [文章编号] 1001-4616(2020)02-0023-06

## Design of Air Pressure Control System for Multi-material Biological 3D Printing Equipment

Cui Meng<sup>1,2</sup>, Tang Hao<sup>2,3</sup>, Yang Shuai<sup>2,3</sup>, Shi Jianping<sup>2,3</sup>

(1.College of Mechanical Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China)

(2.Jiangsu Key Laboratory of 3D Printing Equipment & Manufacturing, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(3.College of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** In order to meet the application requirements of the integrated molding of multi-material biological 3D printing, it is necessary to drive the multi-material spray extrusion system accurately. Based on this, this research designs and makes a kind of air pressure control system based on the proportional modulation valve. The system sets the air pressure through the touch screen, processes the set value by the single-chip microcomputer and transmits it to the proportional modulation valve for air pressure modulation, then uses the acquisition module of the air pressure sensor for data collection, and displays the real-time air pressure through the serial screen. The system can accurately adjust and monitor the air pressure of the nozzle under the working condition by designing the relevant processing circuit and writing the data processing algorithm. The test shows that the designed multichannel air pressure acquisition system can not only meet the requirements of the pressure monitoring for the multi material biological 3D printing system, but also provide a good display interface solution for the relevant experimental platform or control equipment.

**Key words:** single-chip microcomputer, proportional modulation valve, 3D printing, serial touch screen

生物 3D 打印技术是一种基于离散——堆积成形原理,以活细胞、生物活性因子及生物材料的基本成形单元,设计制造具有生物活性的人工器官、植入物或细胞三维结构的技术,它融合了制造科学与生物医学,是一项具有交叉性和前沿性的新兴技术<sup>[1-4]</sup>。随着相关技术的快速发展,3D 生物打印不仅会为人体组织器官的来源提供解决方案,而且在社会经济生活和国防军事等领域也必将有广泛的应用前景。预计 3D 生物打印技术将在五年内实现对功能性血管的打印,在十年内实现对心脏或肝脏等器官的打印,这将是现

收稿日期:2019-12-31.

基金项目:江苏省青年科学基金项目(BK20190712)、江苏省高等学校自然科学研究面上项目(19KJD460005)、江苏省重点研发计划项目(BE2018010)。

通讯作者:施建平,博士,讲师,研究方向:机器人控制技术,3D 打印技术。E-mail:jps@njnu.edu.cn

代医学的一场技术革命<sup>[5-10]</sup>. 3D 生物打印的“独门绝技”就在于,控制生物打印墨水的按需精确喷射成型. 在现代医学精确扫描和计算机快速建模技术支持下,依据目标组织模型,利用计算机精确控制逐层沉积生物墨水,就可制备出具有特定功能的仿生结构植入体<sup>[11-12]</sup>.

多材料一体成型正成为生物 3D 打印机装备制造的必然趋势<sup>[13-14]</sup>. 生物 3D 打印技术中,关键核心技术是如何对多样化的生物墨水进行精确的喷射打印<sup>[15-20]</sup>. 因此,对多路材料喷射挤压系统进行精确的气体驱动尤为重要. 鉴于此,本研究设计并制作了一种基于比例调节阀的气压控制系统,通过相关硬件电路和软件算法的调控,本系统可实现对工作状态下喷头气压的精确调节和实时监控.

1 实验材料和方法

1.1 功能要求

生物 3D 打印系统概念图如图 1 所示. 系统工作时,运动子系统、喷头控制子系统以及温度控制子系统相互协作运行. 对于喷头控制子系统中气压的控制主要有以下功能要求:通过程序设定或触摸屏输入的气压值通过单片机控制系统实时的传输给气压比例调节阀,以实现给定目标压力值快速施加于所驱动的打印喷头,实现材料的实时喷射挤出,同时各路挤出系统中的气压监控模块对所在回路的气压进行实时监控.

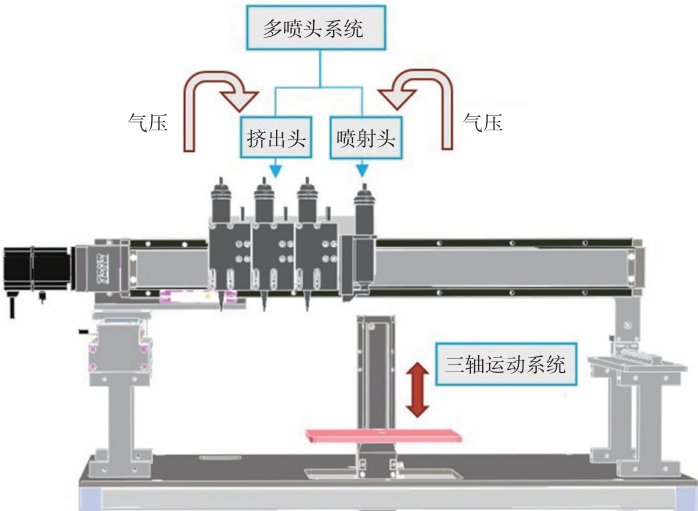


图 1 生物 3D 打印系统概念图  
Fig. 1 Concept map of 3D bio-printing system

1.2 系统总体框架

如图 2 所示,喷头气压实时控制系统以 MEGA2560 单片机为核心,按照功能要求设计各模块电路并配以处理程序,实现了显示可靠、精准气压控制、扩展性强、使用便捷的设计目的. 根据生物 3D 打印系统的实际工作情况,本研究所设计的气压控制系统主要由主控单元模块、比例调节阀模块、气压传感器模块、串口触控屏模块及供电模块组成. 主控单元模块负责整个系统数据处理和命令控制,比例调节阀模块接收单片机发送的气压值调节命令并进行气压比例调节,气压传感器模块负责采集喷头气路系统中的实时工作气压,串口触控屏模块兼有目标气压值的输入与监控气压值的显示功能,电源模块为系统各模块提供不同电压等级的持续稳定电能.

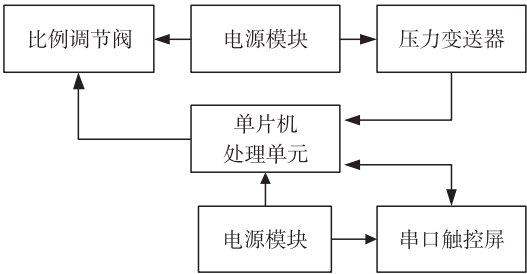


图 2 多路气压采集显示系统设计框架图  
Fig. 2 Designing framework of multi-channel air pressure acquisition and display system

1.3 主控单元模块

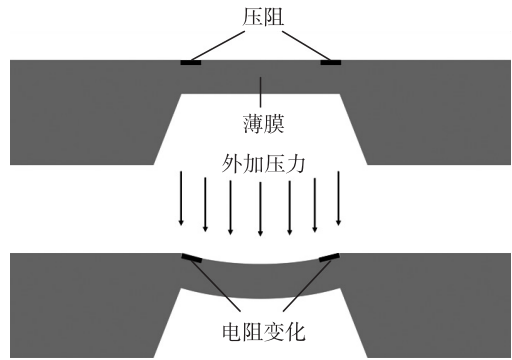
系统主控单元选用 ATmega2560 单片机作为气压控制模块和接收显示模块的核心控制板<sup>[21-23]</sup>. 单片机基于 Arduino 开发平台,其构建于开放原始码 simple I/O 介面版,对其编程是通过编程语言(基于

Wiring) 和开发环境(基于 Processing)来实现的. 主控系统采用 USB 接口的核心电路板,具有 54 路数字输入输出,适合需要大量 IO 接口的设计. 处理器核心为 ATmega2560,同时具有 54 路数字输入/输出(其中 15 路可作为 PWM 输出),15 路模拟输入,4 路 UART 接口,一个 16MHz 晶体振荡器,一个 USB 接口,一个电源插座,一个 ICSP header 和一个复位按钮.

系统工作时最先设定单片机所用的引脚输入输出模式,指定 4 个带有 PWM 输出功能的数字量引脚为电气比例阀控制引脚,指定 4 个模拟量引脚为压力变送器监控引脚,设定串口通讯的波特率,并启动串口. 本系统中单片机主要实现两个主要功能:比例调节阀的控制和压力变送器气压值的读取,程序流程图如图 3 所示.

1.4 气压传感器模块

内置于压力变送器中的气压传感器将喷头内的气压物理量转换为电压信号传递给单片机处理单元. 喷头工作气压数据采集的方法有多种,考虑到简单实用、易于实现、性能稳定、功耗低、可靠性高等因素,系统选用 SUP-P300 压力变送器来实现喷口压力数据的检测,如图 4 所示. SUP-P300 压力变送器压力敏感核心采用了高性能的硅压阻式压力充油芯体,内部的专用集成电路将传感器毫伏信号转换成标准电压、电流或频率信号,可以直接与计算机接口卡、控制仪表、智能仪表或 PLC 等方便相连. 此外,SUP-P300 压力变送器稳定性良好,零点温度漂移及灵敏度温度漂移均为 $\pm 0.03\%$  F.S./ $^{\circ}\text{C}$ ,工作时不易产生较大误差.



(a) 原理示意图



(b) 装置实物图

图 4 SUP-P300 压力变送器

Fig. 4 Pressure transmitter(SUP-P300)

1.5 电气比例阀模块

内置于电气比例阀的控制电路接收单片机 IO 口发送的电压信号,根据电压信号转换为输出气压物理量,同时输出监测的输出气压物理量转换为电压信号至单片机模块. 气压调节的方法有多种,考虑到简单易用、高速响应、免手动操作、高精度、可靠性高等因素,系统选用 SMC-ITV1030-21-2L 型电气比例阀来实现喷口压力调节与反馈,如图 5 所示. 比例阀核心是高速开关电磁阀与压力传感器,控制电路将接收到的电压模拟信号与 5 V 电压进行对比得到需要的输出气压物理量与输入气压物理量比例,根据该比值通过开关电磁阀与内置压力传感器 PID 闭环控制阀芯截面面积调节气流流量大小,同时输出电压模拟量作为监测信号. 此外,ITV1030-21-2L 电气比例阀可靠性高,直线性为 $\pm 1.0\%$  F.S.以下,延滞性为 0.5% F.S.以下,重复精度为 $\pm 0.5\%$  F.S.以下,自身闭环控制误差小.

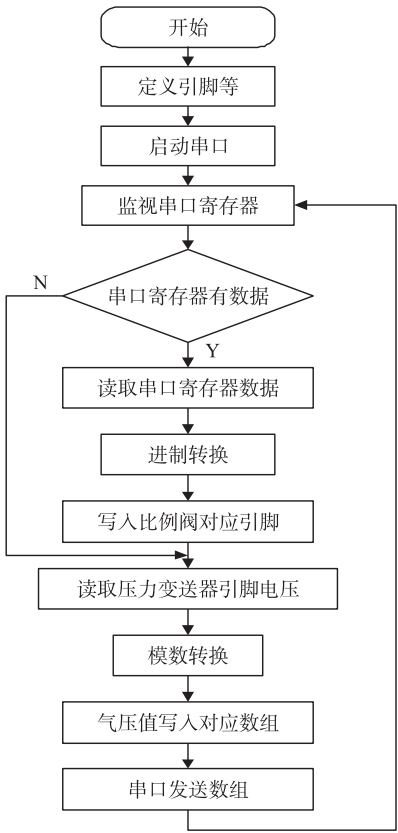


图 3 系统程序控制流程图

Fig. 3 Flow chart of system procedure control

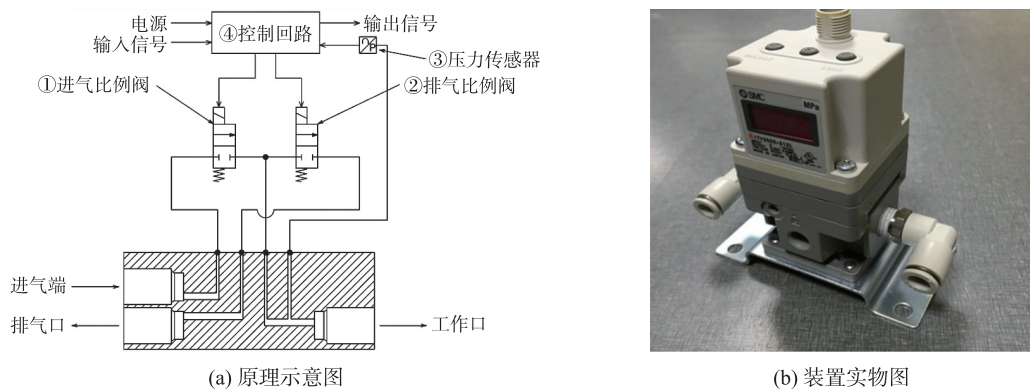


图 5 比例阀

Fig. 5 Proportional valve

1.6 串口触控屏模块

串口触控屏选用迪文 T5L\_DGUS II 触摸屏,该触摸屏具有较高的性价比、开发环境友好等优点. 串口屏是基于配置文件来工作的,开发过程中利用 DGUS 开发软件可完成变量、界面按键等人机交互系统的配置串口屏内部运行流程如图 6 所示.

系统开发工作具体如下:(1)变量规划:在工程开始前制作一个表格,将所需要的变量地址做一个框定和规划;(2)界面设计:运用平面设计工具按需绘制屏幕中的功能图标;(3)界面配置:通过 DGUS2 软件对界面进行配置,工程结束后分别生成 13.BIN 触控配置文件,14.BIN 显示配置文件,以及 22.BIN 变量初始化文件;(4)测试修改:将生成的配置文件存放到 DWIN\_SET 文件夹并通过 SD 卡下载到屏里. 最后将正确的配置文件、图片文件、图标、字库等放到 DWIN\_SET 文件夹并下载. 触控屏的变量地址设置及人机界面设置如图 7 所示.

2 结果与讨论

系统工作时,通过程序设定或触摸屏调节输入目标气压值,输入值经过转换后通过单片机控制系统实时发送模拟信号给比例调节阀进行调节,以实现给定目标压力值施加于所驱动喷头,实现材料的实时喷射挤出. 同时,各路挤出系统中的气压监控模块对所在回路的气压进行实时监控,通过单片机程序处理将压力信号值由十进制转成十六进制后发给串口触控屏,由此实现喷头工作气压在屏幕上的实时显示.

从功能要求和系统总体框架可知,本次研究开发的基于单片机和触摸屏的生物 3D 打印设备多路气压控制系统,涉及单片机与串口触摸屏的通讯问题,以及将压力变送器采集到的数据准确无误通过单片机数据转换并在触控屏上进行显示. 所以为验证本系统的有效性,将该系统在一台四喷头生物 3D 打印设备上进行了应用实验. 实验表明,由触控屏输入的目标气压值能及时调控比例调节阀进行喷头工作气压的控制. 同时,气压监控模块测得的喷口气压数据与仪器测得的实际数据进行比较,系统串口数据刷新频率满足实时监控的使用要求,多路气压控制系统在多材料生物 3D 打印设备上的应用良好,如图 8 所示.

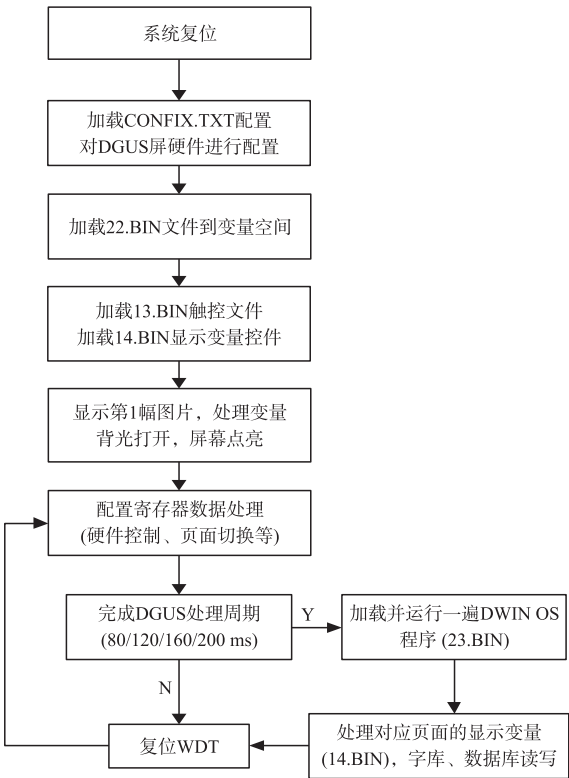


图 6 DGUS 串口触控屏运行流程图

Fig. 6 Operation flow chart of DGUS serial port touch screen



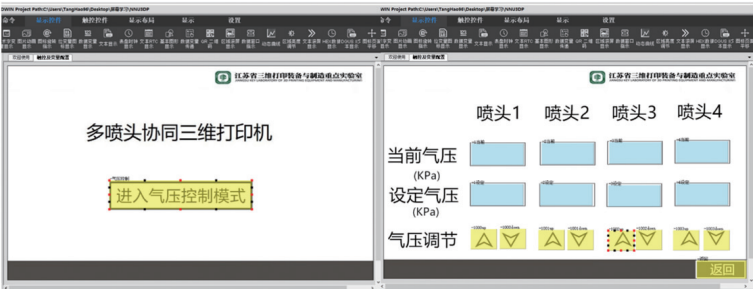
查看地址设置

当前页面：【1】 01.jpg

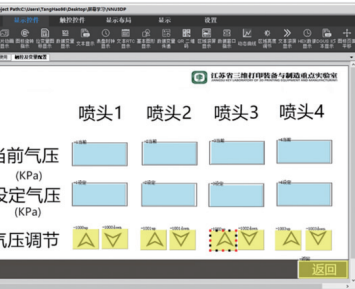
变量地址查看

Image ID	Name	VP	VAR Type	SP
0	气压控制	0x0000	气压控制	
1	4设定	0x1003	Data variables	0xFFFF
1	3设定	0x1002	Data variables	0xFFFF
1	2设定	0x1001	Data variables	0xFFFF
1	1设定	0x1000	Data variables	0xFFFF
1	4当前	0x1007	Data variables	0xFFFF
1	3当前	0x1006	Data variables	0xFFFF
1	2当前	0x1005	Data variables	0xFFFF
1	1当前	0x1004	Data variables	0xFFFF

(a) 变量地址的设置界面



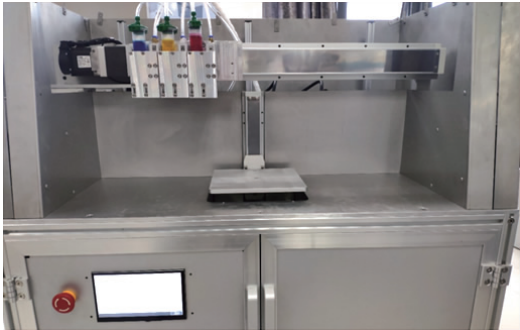
(b) 气压控制主页设置界面



(c) 多路喷头气压控制界面设置界面

图 7 触控屏界面编辑及参数设置

Fig. 7 Touch screen interface editing and parameter setting



(a) 含多路气压控制的生物3D打印系统



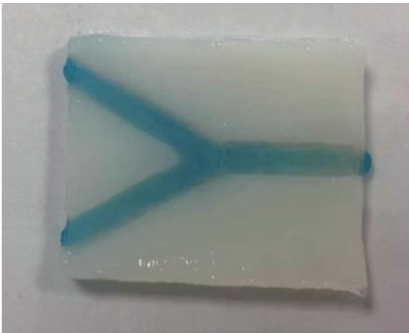
(b) 多路气压人机控制系统界面



(c) 未进行气压调节材料挤出效果



(d) 进行气压调节后材料挤出效果



(e) 打印成型的Y型流道生物模型

图 8 3D 打印系统及打印实验

Fig. 8 3D printing system and printing experiment

### 3 结论

系统以 MEGA2560 单片机作为主控单元,利用比例调节阀、压力变送器、迪文 DGUS 串口屏等硬件单

元模块,搭建了一个面向多材料生物3D打印的多路气压实时控制系统,实现了对喷头工作状态下气压数据实时调控及精确采集.系统采用串口触摸屏作为人机交互系统,提高了操作的便捷性并降低了系统的复杂程度,同时也实现了传感器探测的灵活性.同时,利用该系统可实现对多喷头生物3D打印机气压的实时监测与智能控制,为多材料生物打印系统中不同特性材料的精确喷射提供有效保障.

### [参考文献]

- [1] 贺永,高庆,刘安,等.生物3D打印——从形似到神似[J].浙江大学学报(工学版),2019,53(3):6-18.
- [2] 吕超凡,朱莉娅,李客楼,等.3D打印在软骨组织损伤修复中的应用进展[J].南京师范大学学报(工程技术版),2017,17(1):12-17.
- [3] 杜显彬,徐铭恩,王玲,等.基于同轴流技术的肝组织生物3D打印研究[J].中国生物医学工程学报,2018,37(6):94-101.
- [4] 石静,钟玉敏.组织工程中3D生物打印技术的应用[J].中国组织工程研究,2014,18(2):271-276.
- [5] 王稼垠,柴磊,刘利彪,等.人体器官3D打印的最新进展[J].机械工程学报,2014,50(23):119-127.
- [6] LIAO J, WANG S, CHEN J, et al. Progress in application of 3D bioprinting in cartilage regeneration and reconstruction for tissue engineering[J]. Journal of Central South University, 2017, 42(2): 221-225.
- [7] 谷龙.面向皮肤组织工程的水凝胶与细胞打印研究[D].杭州:浙江大学,2017.
- [8] 王玲,方奥,申皓,等.3D打印的发展前沿——类脑组织打印[J].机械工程学报,2018,54(1):198-204.
- [9] 钟世镇.医用3D打印技术的探索[J].中华创伤骨科杂志,2017,19(2):138-139.
- [10] 潘湘斌.3D打印技术在心脏领域的应用前景和挑战[J].中华医学杂志,2017,97(16):1201-1203.
- [11] 左进富,孙森,韩宁宁,等.3D生物打印在组织工程中的应用[J].组织工程与重建外科杂志,2019(3):201-203.
- [12] 毛伟,连芩,李涤尘,等.立体空心血管网水凝胶支架的3D打印工艺研究[J].机械工程学报,2017(9):180-186.
- [13] 陈鑫,李方正.生物3D打印技术的应用现状和发展趋势[J].新材料产业,2017(11):2-4.
- [14] 施建平,杨继全,王兴松.多材料零件3D打印技术现状及趋势[J].机械设计与制造工程,2017,46(2):11-17.
- [15] 刘志浩,杨建军,赵佳伟,等.电场驱动喷射高粘度导电材料的3D打印机理研究[J].机械科学与技术,2019,38(3):123-129.
- [16] 孙超林,王鑫,李前,等.STM32的环保型便携式3D打印机研制[J].单片机与嵌入式系统应用,2017(17):62.
- [17] 杨亮,傅瑜,邓春健,等.基于嵌入式平台3D打印机研制[J].实验技术与管理,2015,32(12):89-92.
- [18] 欧攀,刘泽阳,高汉麟,等.基于柔性材料的双喷头3D打印技术研究[J].工具技术,2019,53(5):26-30.
- [19] 江郑龙,刘媛媛,李瑜,等.自动化控制的转盘式气动多喷头生物3D打印成形系统及方法;CN201410162181-8[P].2014-04-22,2014.
- [20] 丁争荣,陶凯,邓圭玲.基于AT89C52单片机的喷射点胶控制系统[J].制造业自动化,2010(3):55-56,121.
- [21] 渠森.基于Arduino的智能环境监控系统设计[J].微型机与应用,2014,33(20):83-85.
- [22] 张炳权,田思庆,吴迪,等.基于Arduino/Android的养殖场环境监控系统设计[J].安徽农业科学,2017,45(1):209-211,214.
- [23] 石从刚,崔连涛,宋剑英.基于Arduino uno和nRF24L01的无线温度测试仪的设计[J].仪表技术,2016(10):4-6.

[责任编辑:黄 敏]