

文章编号: 1671-7104(2019)05-0345-03

# 一种便捷式脉搏氧饱和度模拟系统的研制

**【作者】** 袁懋结<sup>1</sup>, 叶继伦<sup>1,2,3</sup>, 张旭<sup>1,2,3</sup>, 刘杰<sup>1</sup>, 文斌<sup>1</sup>, 窦可建<sup>1</sup>

1 深圳大学 医学院 生物医学工程系, 深圳市, 518060

2 广东省生物医学信息检测与超声成像重点实验室, 深圳市, 518060

3 深圳市生物医学重点实验室, 深圳市, 518060

**【摘要】** 该文介绍了一款便捷式血氧饱和度模拟系统的设计, 可用于模拟人体各种血气饱和度状态。可以模拟出较大的血氧饱和度和动态范围、脉率范围和灌注指数范围, 能够用于测试使用, 非临床检查仪器。该系统相比于商用的血氧模拟器具具有体积小、成本低的特点。该模拟系统是血氧仪在生产与测试过程中必不可少的设备, 具有较高的实用价值。**【关键词】** 血氧模拟器; 血氧饱和度; 脉率; 灌注指数; 便捷式**【中图分类号】** R197.39**【文献标志码】** A

doi: 10.3969/j.issn.1671-7104.2019.05.009

## Development of a Portable Pulse Oxymetry Simulator System

**【Writers】** YUAN Maojie<sup>1</sup>, YE Jilun<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Xu<sup>1,2,3</sup>, LIU Jie<sup>1</sup>, WEN Bin<sup>1</sup>, DOU Kejian<sup>1</sup>

1 Biomedical Engineering Department, School of Medicine, Shenzhen University, Shenzhen, 518060

2 Guangdong Key Lab for Biomedical Measurements and Ultrasound Imaging, Shenzhen, 518060

3 Shenzhen Key Lab for Biomedical Engineering, Shenzhen, 518060

**【Abstract】** This article describes the design of a portable blood oxygen simulation system that can be used to simulate various blood gas saturation states of the human body. The system can be used to simulate various states of blood gas saturation, and can also simulate large blood oxygen saturation dynamic range, pulse rate range and perfusion index range. It can be used for testing, but not for clinical examination instruments. Moreover, the system has the characteristics of small size and low cost compared with the commercial blood oxygen simulator. Although the simulation system is not directly used for the detection of blood gas saturation of patients, it is also an essential equipment in the production and testing process, so it has certain practical value.**【Key words】** blood oxygen simulator, blood oxygen saturation, pulse rate, perfusion index, portable

### 0 引言

血氧仪是一种能够实现连续无创监测人体或动物动脉血氧饱和度的新型医疗器械, 在临床上有着广泛的应用。在临床上, 很多疾病会因氧供给的缺乏而影响人体正常的新陈代谢, 严重时甚至会威胁到人的生命。在人体生命体征的测量上, 检测动脉血中的氧含量是判断人体呼吸系统和循环系统是否缺氧的重要指标<sup>[1]</sup>。作为一种正在发展的生命监护关键技术, 血氧仪在生产和应用中还是存在定标和校验的问题需要完善和解决。目前市场上虽有一些国内外相关产品, 但其价格昂贵, 得不到广泛使用。这影响了血氧仪在生产或使用过程中的生产成本和维修成本, 因而探索一种便捷式血氧模拟仪是很有必要的。

本研究主要是从血氧仪的工作原理以及结合血氧仪的血氧标准技术指标参数入手, 根据各血氧仪的工作性能, 提出了血氧模拟仪的关键技术及解决方案。

本设计需要实现血氧饱和度、脉率、灌注指数这几项技术指标的模拟输出。在硬件上, 主要通过两个不同的滤光镜对红光和红外信号进行前期的分离, 经放大后, 再通过逻辑调理电路进行红光红外信号进一步分离, 与此同时, 通过DA数模转换芯片模拟输出各种状态下的血氧信号。

### 1 血氧模拟仪的工作原理

血氧浓度的测量通常分为电化学法和光学法两类<sup>[2]</sup>。起初是使用有创的血氧仪来对血氧进行检测, 通过直接算出血液中氧合血红蛋白占氧合血红蛋白与还原血红蛋白之和的百分比<sup>[3]</sup>, 当然要研制对应的血氧模拟仪也只能通过搭建类似的环境来实现, 该方法极为不方便。出于有创血氧饱和度的检测对人体伤害大, 对血氧无法实现实时监测, 因而人们研究出了无创血氧饱和度测量仪, 其原理是血液中氧合血红蛋白和还原血红蛋白对红光以及红外的吸收程度的不同, 进而可以实现无创式血氧的监测<sup>[3-4]</sup>。与之对应的模拟仪也是利用这一点来模拟人体手指, 实现模拟信号的产生。其实质是模拟人体手指对660 nm的红光和

**收稿日期:** 2019-04-16**基金项目:** 广东省科技厅项目 (2016B010108012)**作者简介:** 袁懋结, E-mail: 1437128694@qq.com**通信作者:** 叶继伦, E-mail: yejilun@126.com

940 nm的红外光的吸收衰减作用<sup>[5-7]</sup>。

本系统需要模拟的参数技术指标分别为血氧饱和度、脉搏波形、脉率以及灌注指数。如图1、图2所示，通过对标准的脉搏波进行拟合及归一化，实现信号来源的可靠性以及各种血氧模拟状态的产生。

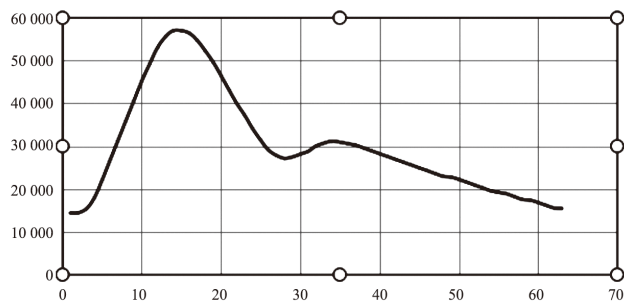


图1 脉搏波标准波形  
Fig.1 standard waveform of pulse wave

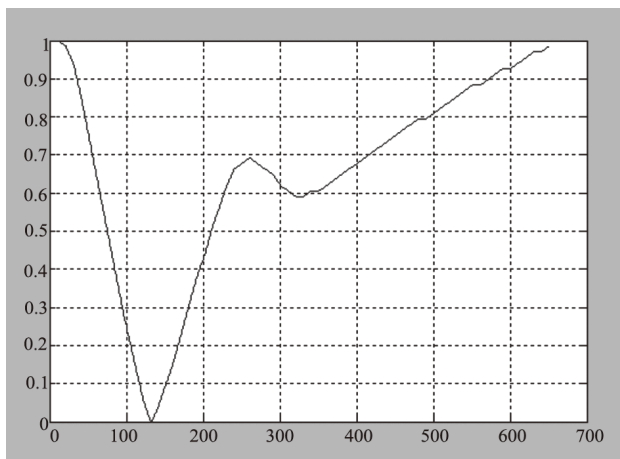


图2 脉搏波归一化  
Fig.2 Pulse wave normalization

## 2 装置设计

### 2.1 硬件设计

本文通过光电转换以及电光转换来实现血氧技术参数的模拟输出。图3为系统结构框图。通过PC上位机对不同血氧参数指标的选择来控制血氧模拟器下位机的工作模式。此外，本课题中血氧模拟探头机械结构的设计也很重要，图4为本课题的模拟探头部分，上面黑色的是红外光电管，另外一个为光电池。图5为血氧模拟器板卡，出于便捷式和集成应用，设计为60×60 mm尺寸大小的板卡。

### 2.2 软件设计

AD5754为16位DA输出芯片，精度足够高，能够提供更加微弱的模拟脉搏信号。AD5754与MCU采用高速的SPI数据通信方式。同时，该芯片为双通道独

立输出，可以通过配置寄存器来控制各自通道的输出，进而输出两个互不相干的模拟红光信号电信号以及红外电信号。通过控制两个通道传输速率、幅值和交直流信号进而实现血氧模拟信号的输出。软件流程图如图6所示。

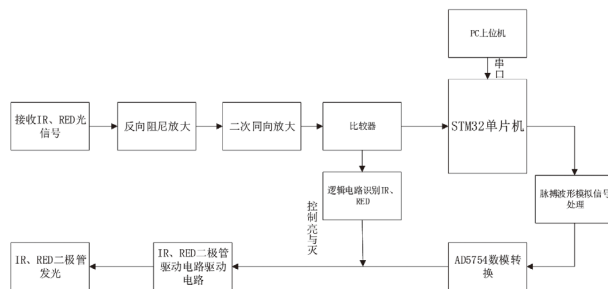


图3 系统结构框图  
Fig.3 Block diagram of system

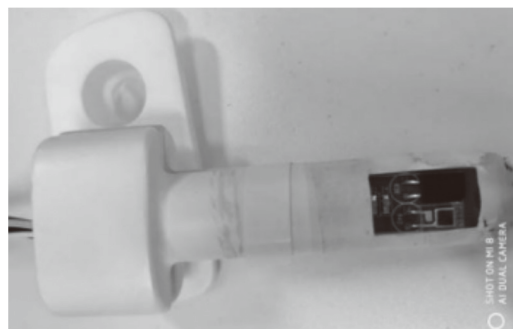


图4 血氧模拟探头  
Fig.4 Probe of blood oxygen simulation

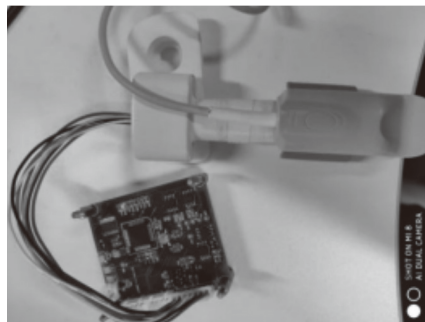


图5 血氧模拟器板卡  
Fig.5 Blood oxygen simulator board

## 3 系统验证

为检测系统测试的准确性，以及该方法的可行性，将本设计在不同的血氧仪上进行了验证。本系统在实验室的血氧平台、锦瑞血氧仪以及迈瑞血氧仪上进行了逐一的验证测试。由于本系统需要测试的参数比较多，为了方便测试，采用了控制变量法来进行测试。

测试组：

(1) 脉率设定为70 bpm，PI设为12.01%，变量血

氧值以步长为1从0到100 bpm的范围进行设置。

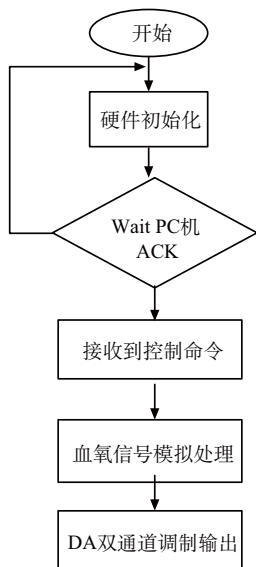


图6 软件流程框图  
Fig.6 Software flow diagram

测试结果，如表1所示。

表1 血氧值的测试结果  
Tab.1 Blood oxygen test results

血氧值控制 (SpO <sub>2</sub> , %)	实验室血氧平台	锦瑞血氧仪	迈瑞血氧仪
55~100	±0	±0	±0
30~55	±1	±1	±1
10~30	±3	±3	±3

注：血氧在55%~100%之间，脉率值准确，灌注指数PI的最大误差为0.08%；血氧在30%~55%之间，脉率值准确，灌注指数PI的最大误差为0.12%；血氧在10%~30%之间，脉率值准确，灌注指数PI的最大误差为0.2%；血氧在0%~10%之间，脉率值误差±1%，灌注指数PI的最大误差比较大，除血氧值为0，其他的误差在±2%之间。

(2) 血氧值设定为98%，PI设为12.01%，变量脉率值以步长为1，从0到300 bpm的范围进行设置。

测试结果，如表2所示。

表2 脉率的测试结果  
Tab.2 Pulse rate test result

脉率值控制(PR/bpm)	实验室血氧平台	锦瑞血氧仪	迈瑞血氧仪
180~300	±1	±1	±1
0~180	0	0	0

注：脉率在180~300 bpm之间，血氧值最大误差为1 bpm，灌注指数PI的最大误差为0.05%；脉率在120~180 bpm之间，血氧值准确，灌注指数PI的最大误差为0.01%；脉率在50~120 bpm之间，血氧值准确，灌注指数PI的最大误差为0；脉率在0~50 bpm之间，血氧值误差±1%，灌注指数PI误差在±0.02%之间。

(3) 血氧值设定为98%，脉率设为70 bpm，变量灌注指数值以步长为0.1%，从0到20%的范围进行设置。

测试结果，如表3所示。

表3 灌注指数的测试结果  
Tab.3 Perfusion index test results

灌注指数(PI, %)	实验室血氧平台	锦瑞血氧仪	迈瑞血氧仪
0.1~1	±0.02	±0.03	±0.02
1~10	±0.01	±0.01	±0.01
10~20	±0.05	±0.04	±0.05

注：PI在0.1%~1%之间，血氧值最大误差为±1%，脉率值的误差为±1 bpm；PI在1%~10%之间，血氧值重复性很好，脉率值准确；PI在10%~20%之间，血氧值准确，脉率值准确。

#### 4 结论

通过对多种产品进行检验与测试，该装置能够满足各种血氧饱和度、脉率以及灌注指数的测试需求，相比于目前各种血氧模拟仪性能更优，体积更小，成本更低。可以满足目前血氧产品在生产和使用中的重复性检测，并通过程序控制实现在血氧仪生产中的自动化的血氧、脉率及灌注指数的重复性检测。目前已经针对这款系统的设计在进一步做系统优化，实现了针对惟拓力公司R曲线的模拟信号输出<sup>[8]</sup>，后续将进一步实现多种R曲线的设置与选择，应对不同公司的产品测试需要，逐步实现产品的工程转化，希望能够得到推广应用，后续应继续改进这个系统的性能与功能，如增加运动干扰功能、环境光干扰功能以及针对脉搏氧探头的测试功能等，完善系统的测试功能，增强该系统的系统功能，扩展应用范围。

#### 参考文献

- [1] 万佳喜, 邹玉华, 韩国成, 等. 反射式脉搏血氧饱和度检测系统的设计与实现[J]. 电子科技, 2018, 31(11): 19-23.
- [2] 罗文志. 基于ARM的血氧饱和度检测仪的研究[D]. 广西: 广西师范大学, 2007.
- [3] 陈敏亚, 李倩. 动态脉搏血氧监测的影响因素及干预措施[J]. 健康前沿, 2019, 28(2): 14.
- [4] 吴洁, 李凯扬. 基于AFE4404的脉搏血氧检测系统[J]. 现代电子技术, 2019, 42(4): 10-13.
- [5] 霍东风, 谭励夫, 刘腾. 一种无线连续血氧饱和度监测系统[J]. 激光与红外, 2018, 48(8): 1036-1039.
- [6] 何史林, 陈广飞, 王华波, 等. 血氧模拟仪的技术研究与设计[J]. 医疗卫生装备, 2011, 32(6): 13-16.
- [7] 雷轩. 可穿戴式血氧饱和度检测仪的设计与实现[D]. 武汉: 中南民族大学, 2016.
- [8] 贾建革, 李咏雪, 郭萍, 等. 脉搏血氧仪校准装置的研制[J]. 中国医学装备, 2007, 4(3): 4-6.

更正：2019年43卷第3期文章《国产医用电气设备可靠性提高方法研究》第197页，

收稿日期应为“2019-02-11”。