

# 基于光电效应的非接触式酒精浓度测量仪

戚达

(长春理工大学 吉林省长春市 130022)

**摘要:** 非接触式测量酒精浓度是一种新型的测量仪器, 在多个领域应用广泛, 为了实现非接触测量, 文中设计了一种基于光电效应的酒精浓度测量系统, 可以对多种浓度的酒精进行快捷、精准的测量。经过 Asd Field Spec3 光谱仪测量, 酒精对于 920nm-1140nm 波长的光吸收效果最好, 使用 980nm 光源、光学系统、光伏二极管、直流 DC 电源模块、IV 变换放大器、数据采集器组成该系统。使用该系统对液体浓度进行测量, 产生的光电流大小, 利用变换放大器将电流值转化为电压值, 利用 MATLAB 的 cftool 工具箱进行电压值与浓度值的函数拟合, 通过函数关系反推酒精浓度。实验数据表明, 在 980nm 波段下, 酒精浓度与电压值有良好的指数函数形式,  $R^2$  达到 0.9821, 与光谱式相比相对误差在 1% 以内。与传统的测量酒精仪器的方法相比, 该方案具有非接触式、成本低、速度快、精度高的特点, 并且还能重复测量多组数据, 便于减小误差。

**关键词:** 测量浓度、光吸收、光电流

## 引言

在交通安全、公共安全、医学研究、食品工业、化工工业和石油化工等领域, 酒精浓度是一个非常重要的物理量, 当前常用的酒精浓度检测方法有光谱分析法<sup>[1]</sup>、光反射法<sup>[2]</sup>、超声技术法<sup>[3]</sup>等, 但这些方法较为耗时或不适宜操作或精度差。若能使用较为简便且快速、精准的方法测量酒精浓度, 便可为相关领域的从业人员带来极大的便利。

如今, 光电效应的应用已经遍布人们生产生活的各个领域。光电倍增管便是利用光电效应研制的光电子器件之一, 它能灵敏、快速地将弱光信号转化成对应的电信号。因此, 光电倍增管被广泛地应用在光学测量仪器和光谱分析仪器等众多高新探测技术中<sup>[4]</sup>。因此, 本文介绍了一种的基于光电效应的测量仪非接触式检测酒精浓度的方法, 该器具具有便捷、快速、精确的优点, 且不用与酒精直接接触, 方便携带, 为检测酒精浓度提供了一种新的参考思路。

## 一、设计思路

### 1.1 设计原理

当一束单色光照射溶液时, 入射光强度愈强, 溶液浓度愈大, 液层厚度愈厚, 则溶液对光强的吸收愈多。它们之间的关系符合物质对光吸收的定量定律, 即朗伯-比尔 (Lambert-Beer) 定律:

$$A = \lg(1/T) = Kbc \quad (1)$$

式中:  $A$  为吸光度;  $T$  为透射比, 是透射光强度与入射光强度的比;  $K$  为摩尔吸收系数, 它与吸收的液体的性质及入射光的波长有关;  $c$  为吸光物质的浓度;  $b$  为吸收层厚度<sup>[5]</sup>。若在光源和光电管间放置液体吸光, 则光线透过液体时其部分光强会被液体吸收, 导致光电管输出的电流  $i_p$  减小, 且不同浓度的液体对光强的吸收能力不一样。

当一定波长的光照射到某些金属表面时, 可以使电子从金属表面一处, 产生光电子, 该效应称为光电效应。光电二极管利用内光电效应, 当一个能量充足的光子撞击二极管时, 会产生电子空穴对, 从而形成光电流, 进而测量浓度。

### 1.2 系统条件的确定

实验条件主要涵盖光源选型和安装方位设计等工作。其主要目的是给待测酒精提供稳定、可靠的光源, 同时使得穿透酒精的光有足够的强度, 且采集到的光电流变化灵敏。我们参考了相关文献, 结合 Asd Field Spec3 光谱仪, 分别对水和不同浓度的酒精进行数据测量, 测量出 920nm-1140nm 范围内酒精对光的吸收效果最好, 结合实际光学器件, 最终选取 980nm 近红外激光器作为光源。

## 二、光学部分设计

### 2.1 光源类型选择

朗伯—比尔定律是光吸收程度的基本定律，表示物质对某一单色光吸收的强弱与吸光物质浓度和厚度间的关系。由于待测酒精将放置于同规格比色皿中，故其为成分确定、厚度确定的混合物，对单色光的吸收程度只与酒精浓度有关。实验要求单色光强度、波长稳定。最终选用功率为 100mW 的 980nm 可调焦距近红外激光(电磁波)。

### 2.2 光路搭建

光伏二极管直接接收透过酒精溶液的激光，会由于球差、折射等原因，使激光不能完全聚焦到二极管端面上，进而产生误差和数据的错误拟合。所以本系统在酒精溶液与光伏二极管之间加入一个正透镜，保证激光聚焦到端面上，由高斯公式推导出透镜合适的摆放位置，

进一步增加精度。式中  $n'$  为溶液折射率， $n=1$  (空气折射率)， $l$  为物距， $l'$  为像距， $r$  透镜的曲率半径。

$$\frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \frac{n' - n}{r} \quad (2)$$

## 三、电路部分设计

酒精浓度检测系统的硬件电路由直流 DC 稳压模块、IV 变换放大器、信号采集器和上位机系统组成。

直流 DC 电源模块具有很好的线性度和动态负载调节能力，它能将单电源转为  $\pm 5V$  输出。

IV 变换放大器由变换电路和四阶低通滤波器组成，主要功能是接收光电二极管产生的信号，将其产生的光电流信号转化成电压信号并进行滤波放大，如图 5。

数据局采集器具有 8 个采集通道，上位机系统由 PC 机、无线接收模块与 PC 通讯的串口线组成。通过同步采样的方式将数据在采集器的存储器中以文本格式进行存储，连接电脑软件后，可以实时的输出波形以及电压的平均值。

## 四、系统测试

### 4.1 系统流程

系统流程如图 1 所示。

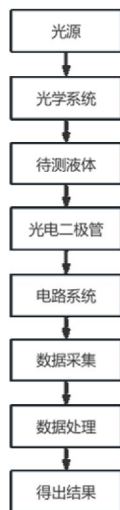


图 1 实验流程图

通过 Matlab 拟合曲线得到液体浓度  $c$  与电压值的相关关系后，即可根据实验所得的电流  $I_p$  的大小间接计算出对应的液体浓度  $c$ 。

### 4.2 实物搭建

利用 SolidWorks 为装置设计底座，底座采取滑轨的方式，便于调整光源与溶液的距离，如图 2。

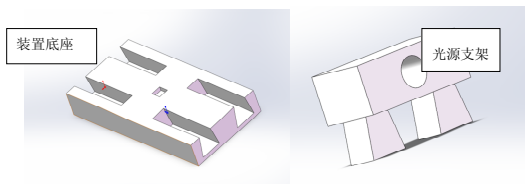


图 2 3D 打印装置底座及支架

利用 3D 打印出底座与支架，进行实物组装，如图 3。

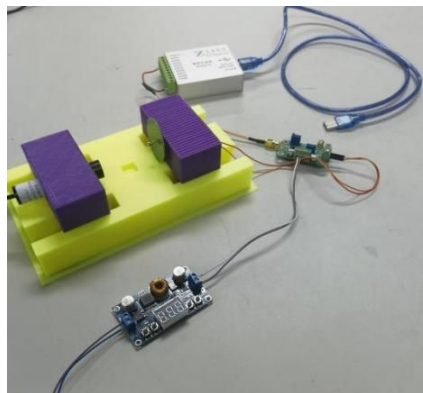


图 3 装置实物图

### 4.3 数据测量

该系统以 10% 为一个梯度分别进采集数据 120 组。由于在测量过程中存在接触不良的情况，通过多次测量

发现，在前几次测量中会出现粗大误差，所以我们取 20-100 组数据取平均值。使用 MATLAB 的 cftool 工具箱进行数据分析，拟合出二项式函数，如图 4。通过多项式函数得出实际浓度。函数公式见式 3，其中函数  $R^2=0.9821$ ，可见其相关性较高。

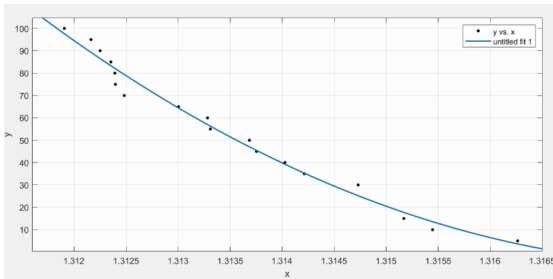


图 4 电压值与酒精浓度拟合曲线

电压值与酒精浓度的函数关系如下：

$$f(x) = p_1 \times x^2 + p_2 \times x + p_3 \quad (3)$$

式中： $x$ 为电压平均值， $p_1=2.665 \times 10^6$ ， $p_2=-7.025 \times 10^6$ ， $p_3=4.63 \times 10^6$ 。

#### 4.4 误差分析

通过实验测量数据得到表 1。表 1 为本系统测量的酒精浓度、传统光谱式测量的酒精浓度以及相对误差。我们发现本系统与光谱式相比，相对误差普遍在 1%以内。

表 1 数据对比表

测量酒精浓度 (%)	光谱式酒精浓度 (%)	相对误差
19.8343	20.08	-1.22%
24.9762	25.03	-0.22%
30.0921	29.80	0.98%
34.8424	34.97	-0.36%
40.4251	40.13	0.74%

凌振宝<sup>[6]</sup>等人基于红外光谱法测量酒精浓度，测得数据与呼气式对比所得到的相对误差普遍小于 10%。李娇娇<sup>[7]</sup>等人基于 51 单片机测量酒精浓度，通过检测工作环境的空气来确定酒精浓度，测量误差不超过 0.05%。本系统通过拟合酒精浓度与光电流密度之间的关系测量出的液体浓度与标准值误差最大不超过 1%，较普通的非接

触测量方法，精度提高 9%左右，可见本系统测量精确度较高，且满足非接触式测量。

#### 五、结语

本文设计了一种针对非接触式酒精测量的新型系统，本系统利用光电效应检测光电流的方式设计了上述光学系统和电路系统，采用 980nm 的稳定激光光源穿过不同浓度的酒精和光学系统，检测光电效应产生的电信号。将测得的实时数据值带入到提前测量、拟合好的酒精浓度-电压值关系函数中，即可实时检测酒精样品浓度值。

相较于传统的光谱分析法，本产品相对误差普遍小于 1%，具有较高的准确性和理论性。误差主要来源于外部环境以及噪声，在后续研究中应着重针对减小误差进行系统的改进。测量方案具有精度高，结构简单，成本低，检测速度快、便携、绿色、环保等特点。同时，其不仅对酒精浓度检测领域具有重要意义，也为非接触式测量其他溶液浓度提供了新的参考方向。

#### 参考文献：

[1]蔡爱平,王海晖.基于光谱分析的液体浓度检测系统[J].仪表技术与传感器,2019,(11):74-77.

[2]张娜,何燕,张彦,等.基于菲涅尔反射的液体浓度精确测量系统[J].光学技术,2012,38(05):598-601.DOI:10.13741/j.cnki.11-1879/o4.2012.05.017.

[3]超声波液体浓度测量及控制仪.上海市,同济大学,2008-01-01.

[4]哈睿.光电倍增管性能和应用的研究[J].电子制作,2014,(20):20.DOI:10.16589/j.cnki.cn11-3571/tn.2014.20.154.

[5]凌振宝,宋诚,欧馨雅等.基于近红外光谱法的血液酒精浓度检测仪[J/OL].吉林大学学报(信息科版),1-7[2024-03-25].https://doi.org/10.19292/j.cnki.jdxxp.20240201.007.

[6]李娇娇,徐勇,苏发桂等.基于 51 单片机的酒精浓度监测系统设计[J].电子测试,2021,(07):17-19.DOI:10.16520/j.cnki.1000-8519.2021.07.005.