

# 基于 MSP430 的便携式水质毒性检测仪的设计

高恭娴, 胡国兵

(南京信息职业技术学院 电子信息学院, 江苏 南京 210016)

**摘要:** 为了在野外快速准确地测量水质毒性污染情况, 设计了基于 MSP430 的便携式水质毒性检测仪。检测仪根据发光细菌毒性检测的原理和使用场合选用低功耗的 CPU, 待机功耗仅为 0.8  $\mu\text{A}$ ; 传感器输入使用进口的光电倍增管和低失调电流的放大电路提高了仪器的精度; 软件采用相对比较法, 无需另外增加恒温电路和光路补偿电路即能避免被测样品因颜色、悬浮物对发光菌种亮度检测的误差。测试结果表明: 该检测仪符合 GB/T 15441 的要求, 具有测试方法简单、误差小、成本低、使用方便、低功耗等特点, 有广泛的市场前景。

**关键词:** 毒性检测; 发光细菌; 光电倍增管

**中图分类号:** TP212

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-9787(2010)07-0106-03

## Design of portable water toxicity detector based on MSP430

GAO Gong-xian, HU Guo-bing

(School of Electronic Information, Nanjing College of Information Technology, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** In order to measure water quality of the toxic contamination quickly and accurately outdoors, a portable water toxicity MSP430-based detector was developed. The detector was designed with low-power CPU whose power consumption is only 0.8  $\mu\text{A}$  according to the principles of the luminescent bacteria toxicity test and occasions of using. The accuracy of the instrument was improved by using imported photomultiplier tubes and low offset current amplifier in input circuit of sensor. It is able to avoid the errors of light-detection of the luminescent bacteria caused by color of the measured sample and the suspended solids without the additional thermostat and optical compensation circuits because the relative comparison method is used in the software design. Test results show that the detector meet the requirement of national standard GB/T 15441. It has the advantage of simple testing, small error, low cost, easy to use, low-power consumption and it has broad market prospects.

**Key words:** toxicity detect; photobacterium; photomultiplier tube

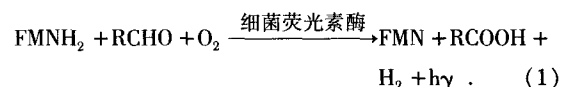
### 0 引言

保护环境是一项基本国策, 随着工业生产的快速发展, 环境污染已越来越严重, 如何快速可靠地测量毒性污染成为亟待解决的问题, 以细菌发光法测定样品的毒性已经被证明是一种生物传感方法<sup>[1]</sup>。国家质量技术监督局、国家环境保护总局已颁布了 GB/T 15441-1995 水质急性毒性的测定: 发光细菌法<sup>[2]</sup>用于水质急性毒性的测定。20 世纪 80 年代初, 国外科学家首次从海鱼体表分离和筛选出对人体无害, 对环境敏感的发光细菌, 用于检测水体的生物毒性<sup>[3]</sup>。细菌发光法就是用发光细菌作为标称物, 通过测量它在各种环境中发光量的变化来确定环境受毒污染的程度。该方法已广泛、成功地应用于环境和过程的监测<sup>[4-8, 11]</sup>。但环境温度、样品的颜色、悬浮物等对发光菌种亮度检测带来很大的误差, 一般需增加恒温电路和光路补

偿电路来消除<sup>[9, 10]</sup>。本文提出了一种相对测量方法和实现电路, 无需增加额外硬件开销, 有效地降低了仪器设备的成本, 提高了测量精度, 有较高的应用价值。

### 1 发光细菌毒性检测的原理

发光是发光细菌的一种生理过程, 是由分子氧作用、胞内细菌荧光酶催化, 将还原态的黄素单核苷酸(FMN  $\text{H}_2$ : reduced flavin mononucleotide)与长链脂肪醛(如十二烷醛)氧化为黄素单核苷酸(FMN; oxidized flavin mononucleotide)与长链脂肪酸, 同时释放出波长为 450 ~ 490 nm 处的蓝绿光<sup>[12]</sup>, 其化学反应过程如下



它直接与细胞的活性与代谢状况相关。当周围的环境有毒性污染时, 毒性物质将改变细胞的状态, 包括细胞壁、

细胞膜、电子转移系统、酶及细胞质的结构,这些变化最终将导致生物发光的减弱。而生物发光的减弱的程度和样品毒性的大小有密切的关系,同时还和发光生物在样品毒性中生存的时间也有一定的关系。可通过在一定的时间间隔对生物发光光强的测定计算得到样品毒性的强弱<sup>[10,13]</sup>。

发光细菌毒性检测的整个过程在5~15 min之内,发光抑制率通过测定起始和终止状态时的细菌发光值并计算得到光相对抑制率,通过计算直接测定样品的毒性。

## 2 系统设计

### 2.1 硬件电路设计

硬件电路设计如图1,它由样品暗室,光电转换器,电流/电压转换电路,电源管理电路,MCU控制电路,LCD显示电路,按键参数设置,串行口通信电路和打印机驱动电路等组成。

1)样品暗室:由黑色有机塑料构成,内部是圆柱体可放入样品试管,加一密封盖防止在测试过程中由室内光透入,影响测试效果。在样品暗室一侧接近底部除开一2 mm直径的槽,用于嵌入光电转换。

2)光电转换器:由于发光菌体自身发光强度很弱而在使用时用量很小,光电转换器的选择起了很重要的作用。选择日本进口的具有高灵敏度、低暗电流和高线性度的光电倍增管S2387-16R作为光电信号接受器,它的波长测量范围是320~1100 nm,相应时间小于1.8 μs,暗电流的典型值是5 pA。

3)电流/电压转换器:光电转换器输出的信号是电流,如何将很小的电流转换成有线性规律的电压,同时还需消除零点漂移的影响是本电路设计的关键,设计本电路时选定OPA111放大器,它具有当噪声的频率在10 kHz时噪声低于8 nVHz<sup>0.5</sup>,基极电流低于1 pA,温度漂移低于1 μV/℃,开环增益大于120 dB等良好特性。经过这样转换的电压信号对CPU的数据采样来说还是相对较小,不能使A/D转换电路工作在最佳状态,所以,在OPA111的输出再增加一级放大器,选择AD549,它同样具备噪声低、基极电流小、温度漂移低等优点。

4)电源管理电路:在野外没有直流或交流电供电的场合,由内部一节锂电池通过本电路升压到外电路所需要的使用电压,也能让本仪器正常工作,同时还根据锂电池提供的电流相对小的特点选用低功耗的MCU。

5)MCU控制电路:电流/电压转换电路输出的电压信号直接送CPU进行数据采集,在设计时选择MSP430芯片,它具有待机功耗仅为0.8 μA,在不到1 μs时间里就能唤醒进入250 μA的工作模式(1 MHz)。MSP430 MCU不仅具备功耗极低的待机电流,而且能够实现即时开机工作

模式与全面同步化的高速系统时钟,因此,能推进技术不断向小型化、低成本应用的趋势发展。MSP430芯片自带6路10位的A/D转换器,完全能满足测试时所需要的精度要求。

6)LCD显示电路:在设计选择时选用一行字符的LCD显示器,即能用字母显示所需的信息又能保证低功耗。

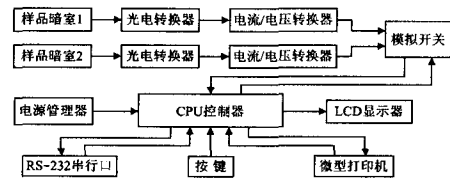


图1 毒性检测仪硬件电路图

Fig 1 Hardware circuit diagram of the toxicity detector

### 2.2 软件设计

本仪器软件功能设计分参数设置、测试、打印三大模块。软件测试框图如图2。

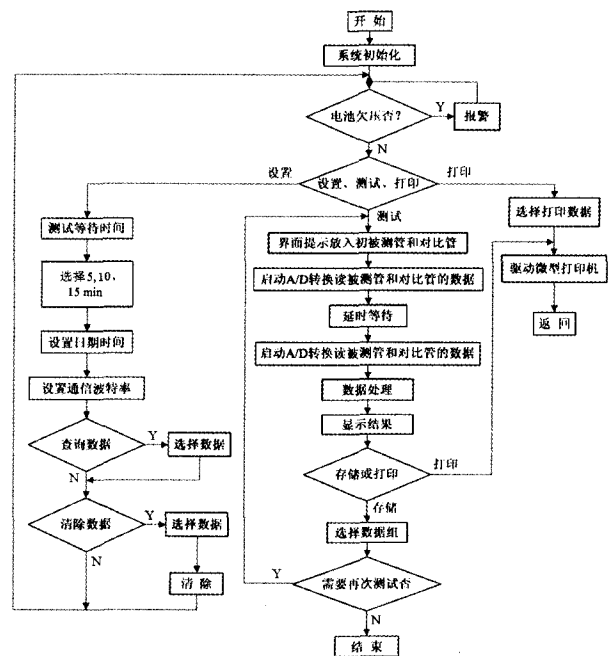


图2 毒性检测仪软件流程图

Fig 2 Software flow chart of toxicity detector

## 3 测试结果

根据GB/T 15441-1995水质急性毒性的测定:发光细菌法,即氯化汞急性毒性水平的分级标准<sup>[10]</sup>对氯化汞溶液浓度进行毒性测试,测试仪器采用的发光细菌为发光细菌干燥粉,测试数据如表1所示。

由表1看出:在氯化汞浓度低于0.04mg·L<sup>-1</sup>时低毒,随着浓度的增加,毒性也在发生变化。同时还做了在不同温度下的氯化汞同样含量的测试,发现随着温度的升高,数据曲线有下降的趋势,但其数据精度在允许的范围之内,数据见图3。

表1 发光细菌法测定氯化汞溶液毒性测量值

Tab 1 Measuremental values of toxicity of mercuric chloride solution based on photobacterium method

氯化汞溶液浓度 ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	毒性 级别	20℃时相对发光度 (%)	25℃时相对发光度 (%)	30℃时相对发光度 (%)	相对发光度 范围(%)	毒性 描述
0.010	I	97.47	96.32	94.12	70 < L	低毒
0.020	II	88.23	87.06	85.26	70 < L	低毒
0.060	II	76.52	75.35	74.30	70 < L	低毒
0.080	II	62.87	61.37	60.46	50 < L ≤ 70	中毒
0.100	III	43.44	42.18	41.06	30 < L ≤ 50	重毒
0.120	IV	33.55	31.02	30.23	20 < L ≤ 30	高毒
0.140	IV	24.87	23.45	21.58	20 < L ≤ 30	高毒
0.160	V	14.07	12.87	11.43	20 < L	剧毒

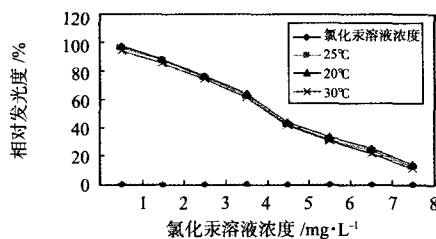


图3 发光细菌法测定氯化汞溶液毒性测量曲线图

Fig 3 Measuremental curves of toxicity of mercuric chloride solution based on photobacterium method

#### 4 结论

1) 该设计符合 GB/T 15441—1995 水质急性毒性的测定:发光细菌法的要求。

2) 本设计采用相对数据比较法,克服了原有便携式测试仪由于环境温度和样品颜色、悬浮物对发光菌种亮度检测的误差,测试方法简单,误差小,成本低,使用方便。

3) 本设计由于采用了低功耗,能在野外没有直流或交流电供电的场合由内部一节锂电池供电,增加了便携式仪器的使用性。

#### 参考文献:

- [1] 王广鹤,瞿绿琰,卢湘岳,等.水质毒性快速检测技术机器发展趋势[J].环境科学,2008,21(12):27-29.
- [2] GB/T 15441—1995 水质急性毒性的测定:发光细菌法[S].
- [3] 顾宗濂.发光细菌法检测水土环境毒性的进展和评价[J].环境科学与技术,2000(2):2-4.
- [4] 杜小丽,徐祖信,王 晟,等.发光细菌法应用于环境样品毒性测试的研究进展[J].上海工业与废水,2008,39(4):14-16.

- [5] Jacob G, Bundy, Graeme, et al. Combined microbial community level and single species biosensor responses to monitor recovery of oil polluted soil[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2004(36):1149-1159.
- [6] Campisi T, Abbondanzi F, Casado-Martinez C, et al. Effect of sediment turbidity and color on light output measurement for microtox basic solid-phase test[J]. Chemosphere, 2005(60):9-15.
- [7] Choa Jang-Cheon, Park Kyung-Je, Ihm Hyuk-Soon, et al. A novel continuous toxicity test system using a luminously modified freshwater bacterium [J]. Biosensors and Bioelectronics, 2004(20):338-344.
- [8] Tzoris A, Halle A H. Rapid detection of toxicity in wastewater: Recent developments with manometric respirometry [J]. Analytica Chimica Acta, 2006(573):147-157.
- [9] 尚丽平,张 迪,马 越,等.便携式生物毒性快速测试仪的设计研究[J].传感技术学报,2006,19(6):633-636.
- [10] 张 迪.基于光电检测技术的急性毒性测定装置[J].仪表技术与传感器,2008(7):75-77.
- [11] 韦东普,马义兵,陈世宝,等.发光细菌测定环境中金属毒性的研究进展[J].生态学杂志,2008,27(8):1413-1421.
- [12] 黄新新,何 苗,施汉昌,等.用于环境污染物遗传毒性评价的重组发光细菌载体的构建[J].环境科学,2008,29(11):3159-3165.
- [13] 蔡 强,何 苗,施汉昌,等.用于水质自动分析的电化学生物传感器系统的研究与开发[J].仪器仪表学报,2007,28(12):2158-2162.

#### 作者简介:

高恭娴(1961-),女,江苏南京人,高级工程师,副教授,从事电力系统仪器仪表产品设计开发工作。

#### (上接第105页)

- [5] 阳明辉,杨云慧,李春香,等.基于氰化物对辣根过氧化物酶的抑制作用测定氰化物的研究[J].分析科学学报,2004,20(5):449-452.
- [6] 杨云慧.新型酶传感器的研究及其在环境毒物分析中的应用[D].长沙:湖南大学,2005:71-82.
- [7] Nogueir T, Marty J L. High sensitive bienzymic sensor for the de-

tection of dithiocarbamate fungicides[J]. Analytical Chimica Acta, 1997, 34(2):63-70.

#### 作者简介:

王 焱(1970-),女,江苏无锡人,博士(后),副教授,硕士生导师,主要从事生物信息智能检测技术方面的研究,发表学术论文20余篇。