

散射式浊度仪的设计与实现

摘要

水的浊度是由于不溶解物质的存在而应起的。对于不溶性的，分散物质所应起的浊度，可以通过测量散射光的强度求出。光的散射作用是液体的一种特性，可以用来测定浊度。

根据国际标准 ISO7027，使用光学浊度仪测量的水的浊度：一是散射光测定法，适用于低浊度水（例如饮用水），根据仪器设计不同，也可以将其用于高浊度水的测定。二是透射光测定法，更适合于高浊度水（例如废水和污水）的测定。可溶性的吸收光物质（例如有色物质）的存在能影响浊度的测定。用大于 800nm 波长进行测量，可减少这些影响。在该波长范围内，某些污水中的蓝色对浊度测定有轻微影响，空气气泡也可能干扰测定，但是对试样进行仔细处理可以将这些干扰降至最小的程度。含溶解性物质的水样，仅能使通过该水样的光线衰减。而含不溶性物质的水样不仅能使入射光衰减，而且由于水中不溶性粒子的存在还会在各个不同方向上程度不同地产生散射光。散射光强度取决于入射光的波长，测量角以及水中悬浮颗粒的形状，光学特性和粒子大小分布。

随着仪器仪表向着智能化方向的发展，嵌入式系统技术也获得了广泛的发展空间。与此同时，人们生活水平不断的提高，水质(尤其是饮用水质)越来越得到人们的关注。水的浊度是反映水质优劣的一个十分重要的指标。从卫生的角度来看，降低水的浊度对人体健康有不少好处。针对市场上浊度仪存在的优缺点，本选题结合嵌入式系统技术，单片机技术和自动化仪

器仪表，对浊度仪的硬件和软件进行设计研究，设计并实现了一种更符合生产、生活需求的新型浊度仪，可用与宽范围水浊度的测量，具有线性度好，灵敏度高等特点。

本文设计的新型浊度仪具有以下特点：采用 ATMEL 公司的 ATmega16 低功耗 8 位单片机（国外称为 MCU）作为系统的硬件平台，其低功耗工作模式，既提高了运算的速度，又降低了功耗，使浊度仪具有更长的使用周期。论文简要地介绍了浊度仪的分类，散射式浊度仪的工作原理，现状及发展前景，阐述了本设计的重要性及广泛的应用前景。详细阐述了基于 ATmega16 处理器浊度仪的软、硬件设计，水样池的设计，光电系统，电源电路，放大电路，ATmega16 的 CPU 电路，接口电路。对于气泡干扰的处理，颜色干扰的处理，有机物干扰的处理，给出了调试过程和试验结果。

通过大量的基础试验结果表明，这种设计方法可以很好地消除上述干扰。总结归纳了散射式浊度仪的可行性，可靠性。

关键词： 散射光，浊度仪，气泡干扰，颜色干扰

DESIGNING AND REALIZING SCATTERING-LIGHT TURBIDITOR

ABSTRACT

Many insoluble substances generate water turbidity. When there are insoluble or scatter substances in the water, measuring water turbidity through measuring the intensity of scattering-light. The scattering-light effect is a kind of liquid peculiarity that can measure water turbidity.

According to International Organization for Standardization(ISO) ISO07027,measuring water turbidity by means of the optical turbiditor:one is scattering-light measurement,suitable for low turbidity water (for example drinking water),according the difference of turbiditor designing,suitable for the measurement of high turbidity water. The other is transmission-light measurement, suitable for measuring high turbidity water (for example waste water and sewage). Soluble and absorbing-light substances can affect the measurement of turbidity (for example colorful substances). When wavelength greater than 800nm, can decrease these effect. In the range of the wavelength ,some blue waste water and blisters will little affect turbidity measurement, these disturbances can be decreased the least degree through careful treating the water specimens. The water specimens including soluble substances only wane light which cut through it. However, the water specimens

including insoluble substances not only wane incidence-light but also generate some scattering-light on difference orientations because of insoluble particles in it. Incidence-light wavelength decides scatter-light intensity, measuring angle and the shape of suspended particles in the water, optical peculiarity and particle's distribution.

With the development of instruments along with the orientation of intelligent, embedded system technology has applied in more fields than ever. Meanwhile, water-quality (drinking water especially) has been paid more attention with the improving of people's living standard. water turbidity is a important index. From the aspect of sanitation, decreasing water turbidity has many benefits with people health. In view of these cases, using the embedded system technology, microprocessor technology and intelligent instrument technology, the paper does research on the hardware and software of turbiditor, design and realize new turbiditor which can be more true of production and living, can be used in wide scope water turbidity measurement, the system has good linearity and high sensitivity.

The paper introduces the classification of turbiditor: using the ATmega16 microprocessor (called MCU abroad), produced by ATMEL Company, because of its ultra low-power, it runs faster and extends the life of the battery. The paper briefly introduces sorts, working principle, status, importance of the design and the broad application prospects about turbiditor. The paper depicts carefully software、 hardware design, water specimen pool, electrical and optical system,

operational amplifier circuit, blisters , color and organic substances disturbed treatment about the turbiditor, provides the debugging process and the results.

On the basis of the large number of projects completed preliminary tests, the paper summarizes the feasibility and reliability about scattering-light turbiditor.

KEY WORDS: scattering-light, turbiditor, blister disturb, color disturb

图表索引

图 2-1	水中微粒的光学现象	8
图 2-2	透射测量原理	8
图 2-3	散射测量原理	9
图 2-4	比率法测量原理	10
图 3-1	x_1 到 x_2 90°方向的散射光	12
图 4-1	正视图	17
图 4-2	左视图	18
图 4-3	后视图	18
图 4-4	俯视图	19
图 4-5	B-B 剖视图	19
图 4-6	A-A 剖视图	20
图 4-7	光电二极管光谱响应特性	22
图 5-1	电源电路图	23
图 5-2	发光电路图	24
图 5-3	消除干扰电路图	25
图 5-4	LM358 一级运算放大电路图	26
图 5-5	AD623 原理图	28
图 5-6	AD623 的闭环增益与频率的关系	29
图 5-7	AD623 一级运算放大电路图	30
图 5-8	LM358 二级运算放大电路图	32
图 5-9	ATmega16 控制电路图	35
图 5-10	ATmega16 异步串行通信电路图	38
图 6-1	PC 机的串口调试显示画面	44
图 6-2	在线式的水样池原理图	45
图 6-3	A-A 剖视图	46
图 6-4	B-B 剖视图	46

图 6-5 俯视图.....	47
图 6-6 后视图.....	47
图 6-7 正视图.....	48
图 6-8 左视图.....	48
图 6-9 数据 D 与 D^0 , D^j , D^j 比较生成 D^i	50
图 6-10 程序框图.....	52
图 6-11 定量分析的光谱相应特性.....	65
图 6-12 定性分析的光谱相应特性.....	66
表 5-1 LM358 作为一级运放的测量数据.....	26
表 5-2 AD623 管脚定义.....	27
表 5-3 AD623 增益电阻器的要求阻值	29
表 5-4 AD623 作为一级运放的各管脚电压值.....	31
表 5-5 运放的放大倍数测量值.....	32
表 6-1 无气泡测量数据.....	57
表 6-2 有气泡测量数据.....	58
表 6-3 有机物测量数据.....	59
表 6-4 可见光的光谱.....	60
表 6-5 加入染料的浊度测量值.....	63
表 6-6 加入颜料的浊度测量值.....	63
表 6-7 染料、指示剂的吸光度.....	64
表 6-8 染料、指示剂的吸光度.....	66

符号说明

JTU: Jackson Turbidity Unit, 杰克逊浊度单位

Unit: 度, 浑浊度

Formazine: 福尔马肼聚合物悬浮液

FTU: Formzaine Turbidity Unit, 浊度单位

NTU: Nephelometric Turbidity Unit, 散射浊度单位

$N_2H_6SO_4$: 硫酸肼

$C_6H_{12}N_4$: 六次甲基四胺

I_r : 瑞利散射的散射光强度

I_t : 瑞利散射的透射光强度

T : 浓度(浊度)

K_1 : 衰减系数

N : 单位体积微粒数

V : 微粒体积

λ : 入射光波长

I_0 : 瑞利散射的入射光强,

n_1 : 水的折射率

n_2 : 微粒的折射率

K_R : 瑞利散射的散射系数

A : 米氏定律的微粒表面积

I_M : 米氏定律的散射光强

I_{SS} : 总的散射光强

K_M : 米氏定律的系数

K_s : 米氏定律的散射系数

$\Delta\lambda$: 入射光谱带宽

θ : 测量角

ϕ : 试管直径内径

R_G : AD623 增益电阻,以 $K\Omega$ 为单位

SPI: ATmega16 的同步串行接口

JTAG: ATmega16 标准仿真接口

GAIN: 选定的增益因子

USART: 异步串行通信接口

e : 摩尔吸收系数,单位为 mg/cm^2 。

BRL C.I. DIRECT BLUE201: 直接耐晒兰 JTU: Jackson Turbidity Unit, 杰克逊浊度单位

声 明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在指导教师的指导下，独立进行研究所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人或集体已经发表或撰写过的科研成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名： 王 飞 日期： 2007.5.10

关于学位论文使用权的说明

本人完全了解太原理工大学有关保管、使用学位论文的规定，其中包括：①学校有权保管、并向有关部门送交学位论文的原件与复印件；②学校可以采用影印、缩印或其它复制手段复制并保存学位论文；③学校可允许学位论文被查阅或借阅；④学校可以学术交流为目的，复制赠送和交换学位论文；⑤学校可以公布学位论文的全部或部分内 容（保密学位论文在解密后遵守此规定）。

签 名： 王 飞 日期： 2007.5.10

导师签名： 何 刚 日期： 2007.5.10

第一章 绪论

近年来,随着科学技术的迅猛发展,与此相适应的新一代工业过程检测仪表将朝着数字化、智能化和微型化的方向发展。因此,人们正在利用新的测量原理和检测技术,开发新的检测仪表产品,扩大自动检测的新领域。水的浊度是水质的一项重要指标。水的浊度就是因水中微粒物质对光的散射而使水的透光率下降的程度。它可以通过测散射光来确定,也可以通过测投射光来确定,还可以用它们的比值来确定。本文所研制的浊度仪是通过测量散射光来确定水样浊度的。

1.1 浊度仪简介

水的浊度是由于水样中的微粒物质的存在导致水的透明度的降低,是水样的一种光学特性。也就是说浊度是种水中微粒物质所产生的光效应,水中浊度的测量是建立在光学测量的基础上的,所以可以用光学方法来测量浊度。浊度仪就是测量水样中的透明度的仪器。1899年美国人杰克逊发明了烛光浊度仪,通过慢慢放低试管水位直到人的眼睛刚刚见不到烛光火焰为止,所测出的水深查表求得其浊度,以JTU为单位,称为杰克逊浊度单位(JTU)。实现了定量测定方法。也就是目视测量法。这种浊度仪用蜂蜡和鲸脑蜡按一定规格制成标准蜡烛,规定燃烧速度,在垂直的玻璃管下点燃,用目视来确定水柱高度后测定标准蜡烛单位。这种浊度单位在欧洲应用较多^[1]。

另一种为光电式浊度仪。1926年美国水质学者提出福尔马肼(Formazine)聚合物悬浮液可以作为浊度标准液^[1]。光电式浊度仪根据其应用,可以分为台式和在线式两种。台式浊度仪主要应用于水的抽样检测,在实验室等比较常用。在线式浊度仪可以对水样进行连续测量,比较适合生产企业得生产检测。在线浊度仪一般都采用散射光测量法。现在很多仪器仪表公司都推出了笔式浊度仪,结构精巧,功能强大,使用很方便。

1.2 浊度仪生产现状及发展前景

国外许多仪器仪表公司都生产了技术先进、性能优良的浊度仪。目前,在众多的浊度仪产品中,国内外浊度仪都是采用散射光测量法,从网上查找到的国外浊度仪生产厂

商如下：美国 HACH 公司的 SS6 高浊度仪、1720 和 2100 低浊度仪，其中 2100 低浊度仪可以自动选择测量范围和小数点位置，测量精度也比较高。英国 ABB Kent 公司的 4600 系列浊度仪。美国 BTG 公司的 Txpro 高浊度仪，200BW 低浊度仪。德国 E+H 公司的 CUS/CUM 系列浊度仪等等。浊度单位基本都是使用 NTU。

国内研制和生产工业光电浊度仪的起步比较晚，早期的浊度仪论文是 1978 年《测定有色溶液浊度的新原理及其应用》^[2]，与国外浊度仪相比，技术性能也有一定的差距，长时间以来，工业浊度仪在分析仪器中也是不多，随着国民经济和科学技术的发展，国内关于浊度和浊度仪的研究开始多了起来，整体来说，研究机构的数量和产品也比较多了。从网上查找到的国内浊度仪生产厂商如下：上海分析仪器生产的 WGZ 系列浊度仪，厦门飞华器材的散射光智能浊度仪，中和医械生产的浊度仪等等，包括现在很多水厂和实验室也可以用分光光度计来测量浊度。

1.3 浊度测量的意义

浊度仪的应用越来越广泛，因为浊度是评价水质的重要依据。根据国家标准 GB5749—1985《生活饮用水卫生标准》中规定生活饮用水的浊度 ≤ 5 NTU，规定水厂的出厂水浊度 ≤ 1 NTU^[3]。这样可以保证城市供水微生物学安全，保证城市供水细菌、病毒及寄生虫的充分灭活，有效去除贾第虫、隐孢子虫等致病原生物^[4]。

对于污水处理来说，处理各种污水后，浊度也是对出水水质要求的重要参数，在出水部分需要进行在线测量浊度，要求出水浊度 ≤ 5 NTU。

对于工业水处理来说，浊度是工业水处理检验水质要求的重要参数。需要入水、出水都进行浊度在线测量，有低浊度和高浊度测量的分别。

对于水环境监测来说，浊度也是必须测量的重要参数，因为浊度的大小往往可以直接判断出水环境污染的程度。PH 值、浊度、氨氮、溶氧四大参数是监测水环境的指标。

对于啤酒酿造工业来说，进行麦芽汁处理的各个阶段，在生产高品质啤酒的澄清阶段，为保证产品的质量，都需要测量浊度^{[5][6]}。

1.4 选题依据

随着环保事业的发展，对环境保护越来越重视，在水质检测中，浊度是水质指标的重要参数。在实际工作中，目视比浊法，分光光度法（实质为透射光测定法），占据很

大的比率。严格按照国际标准 ISO7027《水质—浊度的测定》设计的国外浊度仪，测量效果好，整机价格昂贵，零配件及维修费用比较高，且不方便等特点。

设计一种新型的、智能化的高可靠性的智能浊度仪具有非常现实的意义。智能浊度仪要具有性能优良，测量效果好，价格适中，维护量小，操作简单并且采用新技术，高水平，标准化的国产浊度仪器。

浊度仪的设计需要考虑许多很实际的技术问题，包括光源部分设计，水样池部分的设计，信号的处理等等，实现各种实用的功能，需要从实际着手解决。

1.5 论文的主要研究工作

本课题所研究开发的基于 8 位 AVR 为微处理器的浊度仪的设计与实现，是对浊度仪进行的基础性研究。主要研究内容为浊度仪的概述，零浊度水，浊度的测量原理，设计出基于国际标准 ISO7027《水质—浊度的测定》散射式低浊度仪。其内以 8 位 AVR 为微处理器，通过 CPU 组织，协调浊度仪内各部分的工作，可调节精密基准电源并联稳压器和比较器控制光源，标准 232 串行数据通讯接口。

具体内容主要包括：

(1)绪论，概述浊度仪的生产现状及发展前景，本课题研究的背景、意义、本文的主要工作、论文的组织。

(2)浊度仪形成机理，介绍浊度定义、浊度单位、浊度标准和光电式浊度仪的三种测量方法。

(3)浊度仪工作原理，介绍了浊度测量原理，理论证明了最大浊度值，散射式浊度仪测量的线性关系。

(4)水样池设计及光电器件选型，根据国际标准 ISO7027《水质—浊度的测定》的要求，设计水样池。根据散射光测定法对发光器件的要求，对发光器件和接受器件选型。

(5)浊度仪硬件设计，整体设计浊度仪的硬件，包括电源电路、发光电路、运算放大电路和 ATmega16 控制电路。

(6)浊度仪软件设计及试验测量，先简单介绍了 AVR 单片机的 ICCAVR 编译器和 AVR 的集成开发环境(IDE)。A/D 转换的寄存器进行所需要的设置、USART 异步串行通信口进行设置、编写异步串行通信程序和对通信的上位机 PC 机的显示画面进行了简单描述。最后是试验测量、气泡的处理、有机物的干扰、颜色的干扰。

(7)结束语，对全文做了总结和进一步工作的建议。

第二章 浊度仪形成机理

2.1 浊度概述

2.1.1 浊度定义

根据国际标准 ISO7027《水质—浊度的测定》中浊度的定义^[7]：由于不溶性物质的存在而引起的液体透光度的降低。可以理解为：总重量相同，但颗粒大小不同的杂质，对光的效应是不同的，即浊度是不同的。浊度是表示水质最重要的物理外观指标。

2.1.2 浊度单位

浊度单位使用的种类较多，根据国际标准 ISO7027《水质—浊度的测定》规定了浊度单位：福尔马肼浊度单位（FNU）^[7]。

传统浊度的定义多种多样，下列为些常见的浊度标准溶液单位^[8]。

(1)度：国家标准 GB5750—1985 中规定：相当于 1mg 一定粒度的硅藻土在 1000ml 水中所产生的混浊程度为 1 度。因此浊度测量中使用硅藻土作为标准，由于该标准受到种类、质量、配制条件、稳定性等多种因素的影响，且有配置复杂，再现性不好等问题^[9]。

(2)mg/L：以不溶性硅如漂白土、高岭土等在蒸馏水（二次蒸馏过滤）中所产生的光学阻碍现象为基础，规定 1mg/L 的 SiO₂ 所构成的混浊度单位，该单位实用，但不够严格。

(3)ppm：将 1g 精制高岭土放入一只 1000mL 的烧杯中，加入蒸馏水至 1L 刻度为止，得到 1000ppm 的标准溶液，用此溶液称量稀释，可以配制出各种浓度的标准浊度溶液。保存时间不能超过一周。

(4)FTU：福尔马肼（Formazine）聚合物作为基础，当 1L 水中含有 1mg 此种悬浮物质时，其浊度单位称为 1FTU。为国际标准 ISO7027《水质—浊度的测定》规定的浊度单位^[7]。

(5)NTU: 采用散射光原理制造的浊度仪使用福尔马肼 (Formazine) 聚合物作为基准物质时, 1L 水中含有 1mg 的福尔马肼 (Formazine) 聚合物悬浮物质时, 称为一个散射浊度单位。用 1NTU(Nephelometric Turbidity Unit)表示。

现在国际上和我国都用 NTU 作为浊度测量的统一单位, 给生产测量带来了极大的方便。当采用散射光原理制造的浊度仪并使用福尔马肼 (Formazine) 聚合物作为基准物质, 散射浊度单位, 用 NTU 表示, 溶液配制方法同国际标准 ISO7027《水质—浊度的测定》。目前国际上广泛使用福尔马肼 (Formazine) 溶液作为浊度的基本标准, 在适当的温度下, 硫酸肼与六次甲基四胺聚合, 形成白色高分子聚合物, 颗粒直径约为 $0.6\mu\text{m}$, 以此作为浊度标准液^[7]。溶液的浓度即浊度。

2.2 浊度标准

2.2.1 零浊度水

参照参照采用国际标准 ISO7027《水质—浊度的测定》。选用孔径为 $0.1\mu\text{m}$ (或 $0.2\mu\text{m}$) 的微孔滤膜过滤蒸馏水, 需要反复过滤两次以上, 所获的滤液即位校定用的零浊度水。该水存储于清洁的, 并用该水冲洗后的玻璃瓶中。

零浊度水用于浊度计的零点调整和福尔马肼 (Formazine) 标准溶液的稀释^[7]。

2.2.2 福尔马肼 (Formazine) 浊度标准溶液

不同浊度值的福尔马肼 (Formazine) 标准溶液, 是用零浊度水和经检定合格的容量器具, 按比例准确稀释福尔马肼 (Formazine) 浊度标准物质而获得。

400NTU 以上的福尔马肼 (Formazine) 标准物质需要存放在冰箱的冷藏室内 ($4-8^{\circ}\text{C}$) 低温避光保存, 以稀释为第浊度值的标准溶液不稳定, 不易保存, 应随用随配。

当难于获得福尔马肼 (Formazine) 标准物质时, 可按国际标准 ISO7027《水质—浊度的测定》所规定的方法配制, 严格控制条件和试剂用量。配制方法如下:

(1) 仪器和试剂

分析天平: 载荷 200g, 感量 0.1mg

容量瓶：100ml

移液管：5ml

硫酸脲 ($N_2H_6SO_4$): 分析纯, 纯度大于 99%

六次甲基四胺 ($C_6H_{12}N_4$): 分析纯, 纯度大于 99%

(2)制备方法

准确称取 1.000g 硫酸脲, 溶于零浊度水, 溶液转入 100ml 容量瓶中, 稀释至刻度, 均匀, 过滤后备用。

准确称取 10.00g 六次甲基四胺, 溶于零浊度水, 并转入 100ml 容量瓶中, 稀释至刻度, 均匀, 过滤后备用。

400NTU 福尔马肼 (Formazine) 标准溶液制备: 准确移取上述的两种溶液各 5.00ml, 倒入 100ml 容量瓶中摇匀。避光静置 24 小时后, 加入零浊度水稀释至刻度, 摇匀后即制成 400NTU 标准浊度液。

4000NTU 福尔马肼 (Formazine) 标准溶液制备: 准确移取上述的两种溶液各 100ml, 倒入 200ml 容量瓶中摇匀。避光静置 24 小时后即制成 4000NTU 标准浊度液。

我国目前使用的浊度标准物质: 国家标准物质研究中心研制的标准值为 400NTU 的福尔马肼 (Formazine) 浊度标准物质。缺点如下: (1) 福尔马肼 (Formazine) 是不稳定的悬浮体系, 使用时须摇匀, 浊度量值受人为因素影响明显; (2) 存储量值易变, 稳定性不好, 特别是低浊度(≤ 100 NTU)时, 重复性不好, 稳定性差, 需现用现配^[7]。

2.3 浊度测量方法

浊度是一种光学效应, 是由于水样中的悬浮颗粒与光相互作用, 水中物质对光线产生折射、散射与吸收, 从而使入射光衰减, 根据其衰减的多少表示浊度的大小。如图2-1所示^[9]。因此水溶液的浊度是表征这些光学现象的量。

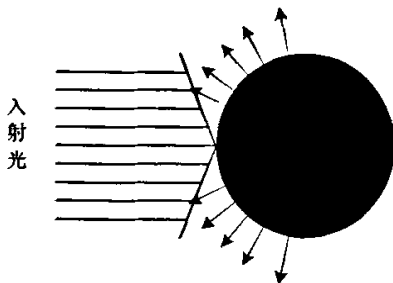


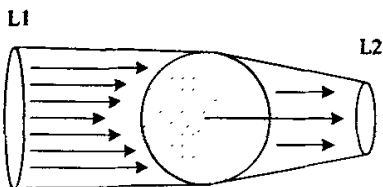
图 2-1 水中微粒的光学现象

Fig2- 1Optical phenomenon of particles in water

水中浊度的测量建立在光学测量基础上，根据国际标准ISO7027《水质—浊度的测定》实现了定量测定方法。至今目视测量法设备简单，成本低廉，用于如野外工作的半定量测定法：透明度试管法和透明度试验圆盘法。但其测量范围窄，测量精度低，目前已有越来越多的实验室使用光学仪器测量浊度^[9]。光学仪器测量浊度的原理主要有三种类型。

2.3.1 透射光测定法

根据比尔定律，以透过光的衰减程度来确定水样的浊度。这种类型的仪器结构比较简单。测量中一般使用矩形比色皿，多选用680nm波长以避免水中黄色与绿色的干扰。同时也可以使用分光光度计测量。其已入选我国各类水质检验标准方法。由于水中有机物质等对光有吸收，产生误差，使之测量波动性比较大。透射测量原理如图2-2所示^[9]。



L1:光源 L2:透射光

图 2-2 透射测量原理

Fig2- 2 Transmission-light measurement principles

2.3.2 散射光测定法

根据瑞利定律：

$$I_r = K_R I_0 N \quad (2-1)$$

式中 I_r 为散射光强, I_0 为入射光强。

由于水中物质对光散射无定向, 因此可选择不同角度测量散射光的强度, 根据国际标准ISO7027-1984《水质—浊度的测定》实现了定量测定方法。规定散射测量的角度为 $90^\circ \pm 2.5^\circ$, 这类仪器性能稳定, 同时测量是在无光黑色背景下进行, 从而大大提高了灵敏度, 且测量范围适合于饮用水, 矿泉水等, 因此广泛应用^[9]。散射测量原理如图2-3所示^[9]。

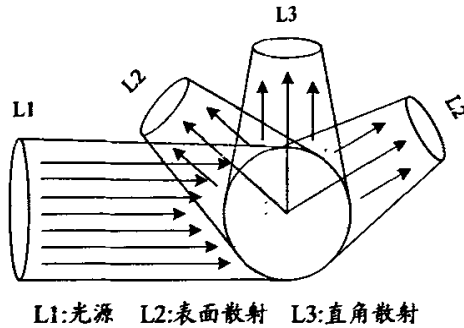


图 2-3 散射测量原理

Fig2-3 Scattering-light measurement principles

2.3.3 透射光—散射光比较测定法

同时测量投射于水样光束的透射光和散射光强度, 再按这两者光强度之比值测定其浊度大小。可按下式求得:

$$I_r / I_t = KD \quad (2-2)$$

$$\text{或 } I_r / (I_r + I_t) = KD \quad (2-3)$$

式中, I_r 散射光强度, I_t 透射光强度

同时测量透射光强度与散射光强度, 将两者之比——散透比作为浊度值。这种方法也称为积分球浊度。由于对散射光, 透射光同时测量, 能够大大提高一起的稳定性, 也可以减少水中色度的影响^[9]。比率法测量原理如图 2-4 所示^[9]。

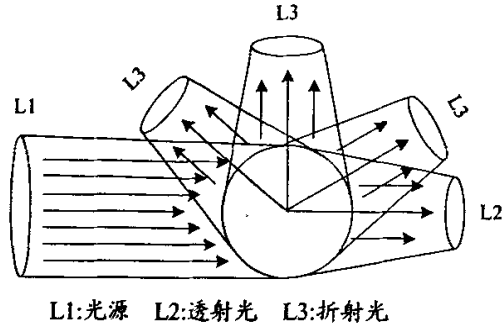


图 2-4 比率法测量原理

Fig2-4 Transmission-scattering measurement principles

2.4 本章小结

第一节首先根据国际标准 ISO7027《水质—浊度的测定》介绍了浊度的定义，浊度的定义表达了水中不同大小、重量、形状的悬浮物和各种杂质对光所产生的效应。不直接表示水样中各种杂事的含量，却与其存在的数量相关。接着介绍了浊度的单位，作为浊度的单位各个国家都有不同的计量单位：度、mg/L、ppm、FTU、NTU 之间没有绝对的定量关系。应用起来相互之间也没有太大的差别，知识应用统一，相互具有可比性，是理想应用原则。NTU 是比较好的一种浊度测量单位。

第二节介绍了浊度标准，作为浊度的基本标准溶液必须具备光学性质上的同一性、重现性和稳定性。按照浊度标准液的配置方法，用原材料配制成浊度标准溶液的悬浮颗粒折光率和颗粒大小不会发生变化。福尔马肼（Formazine）标准溶液是纯的化学试剂，相比较而言，重现性和稳定性算是比较好，光学性质同一、恒定，是较好的浊度标准溶液。

第三节介绍了浊度的测量方法，测量方法中重点介绍了光电式浊度仪的测量方法，由于浊度标准的确定，散射光测定法也称为现在浊度仪的最主要的测定方法。

本章所涉及到的浊度的定义、单位、标准、测量方法为整个浊度仪设计的基础。

第三章 浊度仪工作原理

3.1 浊度测量原理

3.1.1 散射光强度

设有一束平行光穿过一均匀悬浮液，根据比尔定律^{[10][11]}：

$$\frac{dI_{ss}}{dT} = 0 \quad (3-1)$$

定义： T 为浓度， K_1 为衰减系数， I_0 为入射光强，在穿过浊度液厚度 x 后，光强为 I_x 。

当悬浮液中的悬浮颗粒直径小于光波波长时，其散射光强 I_r 可以用瑞利定律：

$$I_r = \frac{K}{\lambda^4} NV^2 \left(\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2 + 2n_2^2} \right)^2 I_0 \quad (3-2)$$

其中， N 为单位体积微粒数， V 为微粒体积， λ 为入射光波长， I_0 为入射光强， n_1 和 n_2 分别为水和微粒的折射率， K 为系数。

从式中，如果入射光波长 λ 和微粒体积 V 一定，散射光强 I_r 与悬浮液的浓度成正比：

$$I_r = K_R I_0 N \quad (3-3)$$

其中， $K_R = \frac{K}{\lambda^4} V^2 \left(\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2 + 2n_2^2} \right)^2$ ， K_R 为瑞利散射的散射系数。

当悬浮液中的悬浮颗粒直径大于等于光波波长时，其散射光光强 I_M 可以用米氏定律^[12]：

$$I_M = K_M ANI_0 \quad (3-4)$$

其中， A 为微粒表面积， K_M 为系数。

如果微粒表面积 A 一定，散射光强 I_M 与悬浮液的浓度成正比。

通过瑞利定律和米氏定律，在一定波长范围内的非相干光，通过颗粒大小均匀的溶液，无论是瑞利散射还是米氏散射，所产生的散射光强度与浓度均成正比。

$$I_s = K_s N I_x \quad (3-5)$$

其中， K_s 为散射系数， N 为溶液浓度， I_x 为发生散射处的入射光强。

3.1.2 浊度仪中接收的散射光强度

当悬浮液为浊度液时，测量溶液中的散射光大小，可以得到溶液的浊度值。通过在散射角度对光强和溶液浓度的关系进行证明，可以得到浊度液的散射光强和浊度液之间的关系。

使用标准的福尔马胂聚合物为浊度液，浊度单位为 NTU。浊度液的浊度液就是其浓度。在下列公式中，统一用浊度符号 T 来表示浓度符号 N ^[13]。

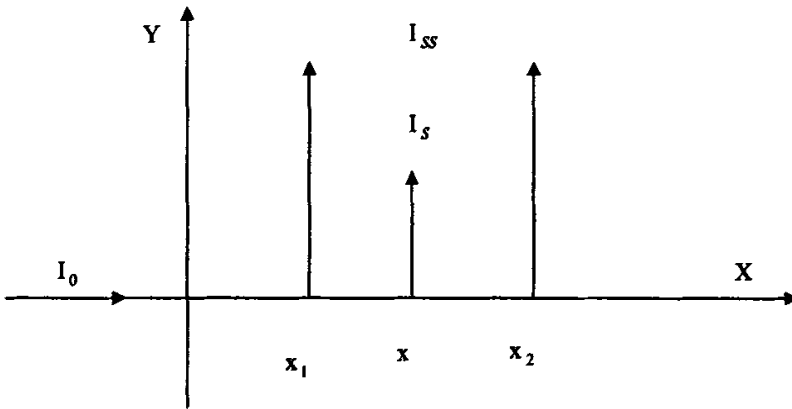


图 3-1 x_1 到 x_2 90° 方向的散射光

Fig.3-1 Scattering-light on 90° orientation from x_1 to x_2

如图 3-1 所示，Y 轴的右方为浊度液，设有一强度为 I_0 的光束沿 x 正方向入射到溶液中，到达 x 处的光强 I_x 根据比尔定律为：

$$I_x = K_0 I_0 e^{-K_1 T x} \quad (3-6)$$

其中, K_0 为光以入射角为 0° 从空气入射到浊度液中的透射系数, K_1 为衰减系数。

光束在 x 处发生散射, 其 90° 方向的散射光, 经过 y 方向的传播衰减后, 在 y 处 (到达接收二极管的垂直距离) 的光强 I_s 为:

$$I_s = K_s T I_x e^{-K_1 T y} \quad (3-7)$$

$$\text{带入 } I_x = K_0 I_0 e^{-K_1 T x} \quad (3-6)$$

$$\text{得 } I_s = K_s K_0 T I_0 e^{-K_1 T x} e^{-K_1 T y} \quad (3-8)$$

在 x 附近取无限小 dx , 产生的散射光为 dI_s , 则:

$$dI_s = K_s K_0 T I_0 e^{-K_1 T x} e^{-K_1 T y} dx \quad (3-9)$$

在 x_1 到 x_2 的范围内, 即浊度仪的接收二极管的接收范围内, 所产生的 90° 方向的散射光, 经过 y 方向的传播并衰减后, 总的散射光强 I_{ss} 为:

$$\begin{aligned} I_{ss} &= \int_{x_1}^{x_2} dI_s \quad (3-10) \\ &= \int_{x_1}^{x_2} K_s K_0 T I_0 e^{-K_1 T x} e^{-K_1 T y} dx \\ &= \frac{K_s K_0}{K_1} I_0 e^{-K_1 T y} (e^{-K_1 T x_1} - e^{-K_1 T x_2}) \end{aligned}$$

由上面得到总的散射光强

$$I_{ss} = \frac{K_s K_0}{K_1} I_0 e^{-K_1 T y} (e^{-K_1 T x_1} - e^{-K_1 T x_2}) \quad (3-11)$$

$$\text{则: } I_{ss} = \frac{K_s K_0}{K_1} I_0 e^{-K_1 T (y+x_1)} (1 - e^{-K_1 T (x_2-x_1)})$$

$$\text{令 } \Delta x = x_2 - x_1$$

$$I_{ss} = \frac{K_s K_0}{K_1} I_0 e^{-K_1 T (y+x_1)} (1 - e^{-K_1 T \Delta x}) \quad (3-12)$$

其中, $\Delta x = x_2 - x_1$ 为测量光程长, 可以看出总散射光强度与浊度 T 不是线性关系, 由两部分组成。 $e^{-K_1 T (y+x_1)}$ 随浊度增加而减少, $1 - e^{-K_1 T \Delta x}$ 随浊度增加而增加, 最大值为 1。

3.2 散射式浊度仪测量的范围

3.2.1 最大浊度值

浊度最大时的 T_{\max} 可以通过 $\frac{dI_{ss}}{dT}=0$ 求得:

$$\frac{dI_{ss}}{dT} = d \left[\frac{K_s K_0}{K_1} I_0 e^{-K_1 T (y+x_1)} (1 - e^{-K_1 T \Delta x}) \right] / dT = 0$$

$$T_{\max} = \frac{\ln \left(1 + \frac{\Delta x}{x_1 + y} \right)}{K_1 \Delta x} \quad (3-13)$$

T_{\max} 即为浊度测量的上限值, 随 Δx , x_1 , y 的增加而下降。由于接收二极管的前端带有透镜, Δx 可以为无穷小量。

$$\ln \left(1 + \frac{\Delta x}{x_1 + y} \right) \approx \frac{\Delta x}{x_1 + y}$$

$$T_{\max} \approx \frac{1}{K_1 (x_1 + y)} \quad (3-14)$$

3.2.2 散射式浊度仪测量的线性关系

用泰勒级数将 $I_{ss} = \frac{K_s K_0}{K_1} I_0 e^{-K_1 T (y+x_1)} (1 - e^{-K_1 T \Delta x})$ 展开:

$$e^{-K_1 T (y+x_1)} = 1 - K_1 T (y+x_1) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{[-K_1 T (y+x_1)]^n}{n!}$$

$$\cdot e^{-K_1 T \Delta x} = 1 - K_1 T \Delta x + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{[-K_1 T \Delta x]^n}{n!} \quad (3-15)$$

略去二阶无穷小量

$$I_{ss} = \frac{K_s K_0}{K_1} I_0 [1 - K_1 T (y+x_1)] K_1 T \Delta x$$

$$I_{ss} = K_s K_0 I_0 [1 - K_1 T (y+x_1)] T \Delta x$$

在低浊度时, $K_1 T (y+x_1) \ll 1$

令 $K_2 = K_s K_0$

所以:

$$I_{ss} = K_2 I_0 T \Delta x \quad (3-16)$$

散射光强与浊度和光程长成正比。

3.3 本章小结

第一节介绍了浊度的测量原理, 首先得到了散射光的强度, 即在一定波长范围内的非相干光, 通过颗粒大小均匀的溶液, 无论是瑞利散射还是米氏散射, 所产生的散射光强度与浓度均成正比。接着介绍了浊度仪中的接受的散射光强度, 通过在散射角度对光强度和溶液浓度的关系进行证明, 可以得到浊度液的散射光强和浊度液之间的关系。

第二节介绍了散射式浊度仪测量的范围。通过对总的散射光强 I_{ss} 求导数, 得到了最大浊度值。通过对总的散射光强 I_{ss} 用泰勒级数展开, 求得散射式浊度仪测量的线性关系, 即散射光强与浊度和光程长成正比。

本章从理论上说明了浊度仪的工作原理, 并深入研究了最大浊度值, 散射光强与浊度和光程长得线性关系。

第四章 水样池设计及光电器件选型

4.1 水样池的设计

实验室浊度测量用的水样池，分三个部分。一是机械设备，即水样池；二是用来装浊度溶液的试管，盛装浊度液的试管放在水样池中测量；三是光电系统，光电器件。水样池的性能将直接关系到整台仪器的测量精度。根据对整个浊度仪水样池的分析，必须考虑以下几个因数：

(1)要求光源强度变化不会影响到测量的精度，因为要保证光源发光强度的高稳定是很困难的。发光二极管要使用恒流供电，尽最大可能是它的发光强度不会引其它因数的变化而变化。

(2)通过非水样散射途径，例如，水样池壁的反射，散射，透镜镜头的反射等，到达接受光电管的光（即杂散光）尽可能少，以利于减少仪器的零点数值。尽可能做到具有完全均匀的几何和光学特性，减少对测量精度的影响。

(3)提高光源即红外发光二极管的利用率，使用较小功率的光源而产生较强的散射光。由于光学仪器中光源和光电转换器件往往是系统噪声和漂移的最大来源，要降低光源功率以减少噪声，尽可能提高散射光强度已降低对放大电路的要求。

(4)测量光程不能太长，而被测量的水样的体积又不能太小，被测量的水样中难免会有较大的粒子。被亮亮的水样的体积太小，会影响读数的稳定性，体积较大，具有一定的平均效果，测量光程太长，测量上限非线性严重。

4.1.1 水样池壳体

4.1.1.1 确定壳体尺寸

水样池壳体尺寸的确定：

根据所选用的红外发光管透镜的外径为 $\phi 4\text{mm}$ ，所以 $\Delta x = 4\text{mm}$ 。又国际标准 ISO7027《水质—浊度的测定》规定试管直径内径为 $\phi 25 \pm 1\text{mm}$ ，长度为 $600 \pm 10\text{mm}$ ^[7]。

保护透明试管免受侧面光影响的遮光密闭装置。在正视图中上部的小台阶为遮光密闭装置。用顶丝固定试管，留 2.5mm 距离，所以水样池内径 $\phi 25\text{mm}$ ， $y=12.5\text{mm}$ 。散射角度为 90° ， $x_1=18\text{mm}$ 。这些参数确定后，浊度的最大值，浊度测量的范围也就确定了。

4.1.1.2 壳体零件图

水样池的零件图如下列图所示：

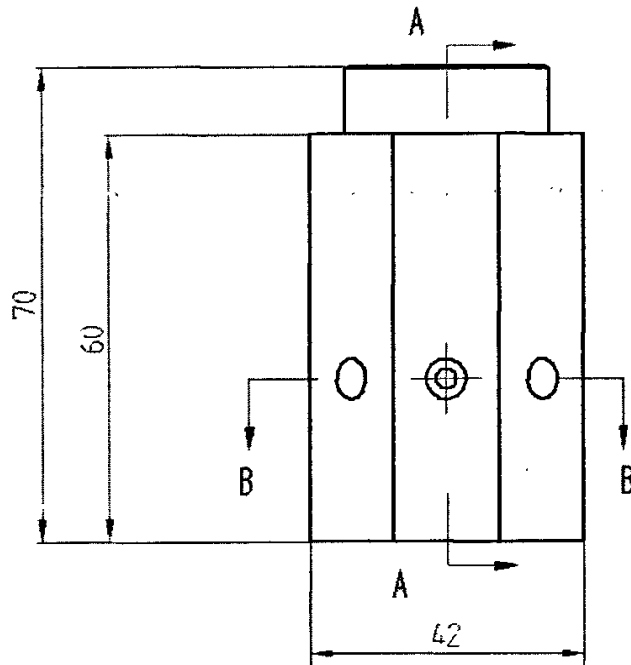


图 4-1 正视图

Fig4- 1 Front elevation

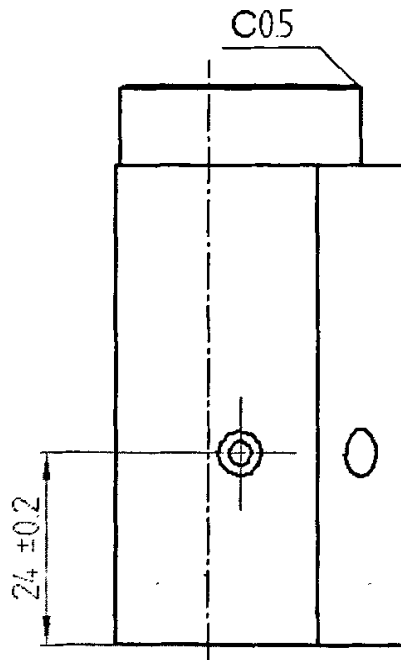


图 4-2 左视图
Fig4- 2Left elevation

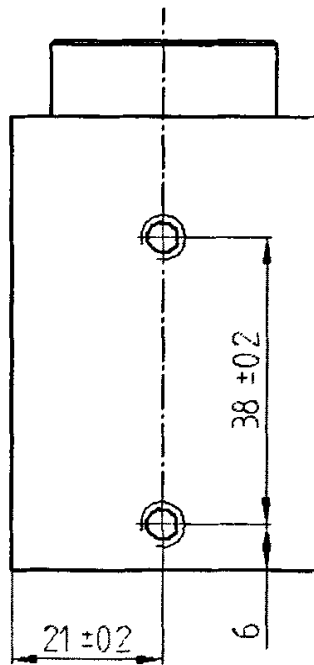


图 4-3 后视图
Fig4- 3. Block elevation

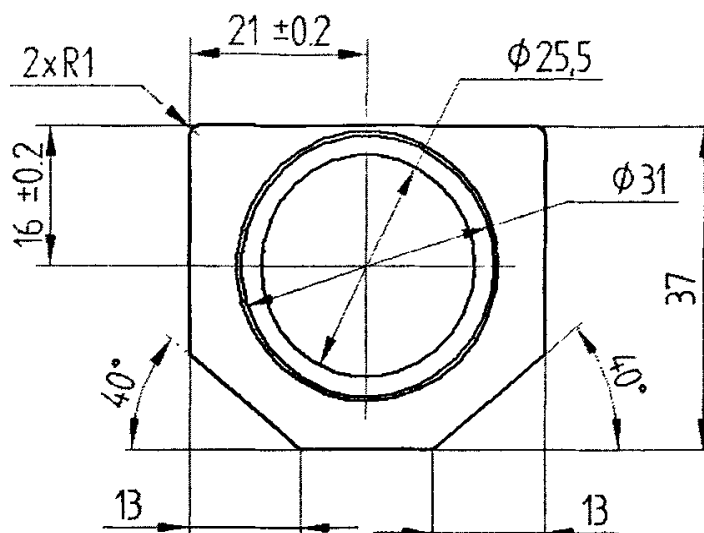


图 4-4 俯视图

Fig4-4 Vertical view

B-B

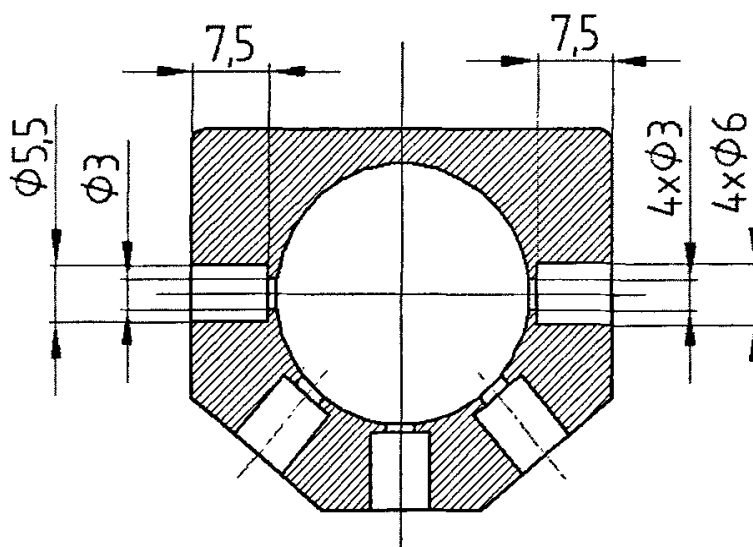


图 4-5 B-B 剖视图

Fig4-5 B-B cut open view

从 B-B 剖视图中可以看到，内径 3mm 外径 5.5mm 的安装孔为发光管孔，其他四个为接收管的安装孔，内径 3mm 外径 6mm。

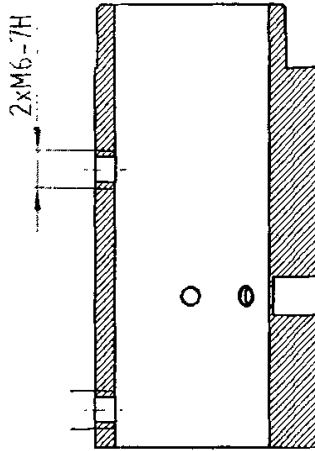


图 4-6A-A 剖视图

Fig4- 6A-A cut open view

发光管和接收管固定在水样池中，对于入射光，垂直入射，通过在光源前的透镜，由红外发光管发出的光进过透镜后，变成垂直入射的平行光，入射到试管的水样中。对于接收光，接收管固定在向对于发射光 90° 的位置。水样池整体使用 DYY 氧化，成黑色，在测量过程中，为整体密封，不受自然光的影响。

4.2 发光器件的选型

4.2.1 发光器件的国际标准要求

国际标准 ISO7027《水质—浊度的测定》中散射光测定法也要求^[7]：

- (1)入射光的波长 λ 为 860nm；
- (2)入射光谱带宽 $\Delta\lambda \leq 60\text{nm}$ ；
- (3)平行的入射光没有发散，任何聚焦不超过 1.5° ；
- (4)入射光光轴和散射光光轴之间的测量角 θ 为 $90^\circ \pm 2.5^\circ$ ；
- (5)在水样中的张角 $< 20^\circ$ ；
- (6)定标标准为福尔马肼（Formazine）聚合物；

4.2.2 发光器件的选型

发光器件的要求：

(1)光强稳定,这样得到的散射光才有价值,由于光源光强的变化而应其散射光的强弱变化,得到的是错误的测量值,而不是浊度的变化。

(2)发光器件的寿命要长,尤其是在线式浊度仪需要长时间工作,必须保证发光器件的寿命足够长。

(3)不同的波长对水样的散射效果不同^{[14][15][16][17]}。

部分浊度计采用白炽灯作为仪表光源,在实际使用中,每次开机后需预热,且测量电路易受温度影响,每次要用零度水调零,比较麻烦。调零不正确,则直接影响被测参数的精度。作为光源,其调整管耗散功率较大,时间一长,仪表内温度上升,从而引起电子元件产生温度漂移,导致读数不稳定,灯泡会发黑,产生老化光衰,影响浊度仪的稳定度和灵敏度。

红外发光二极管作为光源,需稳定光源,寿命长,发射光强度稳定,波峰值 $>800\text{nm}$,即使样品浓度很低,也能保证有足够的散射光强度,并且减少色度的干扰,可以测量各种颜色的样品的浓度。

根据国际标准 ISO7027《水质—浊度的测定》选用的高强度长寿命近红外 LED 光源。与普通光源相比,红外 LED 寿命长,发射光强度稳定,波峰值 890nm ,晶体管头安装有环氧密封的直径为 5mm 的透镜,平行的入射光没有发散。光源功率 $5\sim 10\text{W}$,入射光谱带宽为 $\Delta\lambda = 40\text{nm}$ 。

4.3 光电接受器选型

散射光的光强很弱,光电接收器间的灵敏度必须很高。在低浊度的水样中,所产生的散射光是很微弱的,要求光电接收器件能分辨出极小的光强变化,并且产生电流上的强弱变化。另外,由于光电接收器件本身不是线性元件,在挑选时,要考虑满足一定的线性要求。选用光电二极管^{[18][19][20]}。

光谱响应特性如图 4-7 所示^[18]。

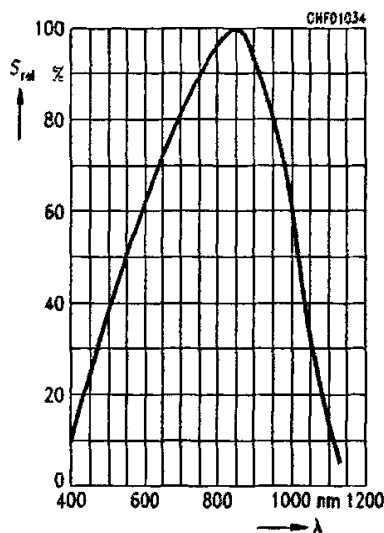


图 4-7 光电二极管光谱响应特性

Fig4-7 Spectral response of photosensitive diode curve

从图中可以看到，光电二极管的响应值在 850~900nm 附近，选用 890nm 的光电二极管。

4.4 本章小结

第一节首先介绍了浊度仪最外围的水样池。根据国际标准 ISO7027《水质—浊度的测定》的要求，确定了实验室用浊度仪水样池的机械结构尺寸、对试样管的固定方式、遮光密闭装置,尽可能提高散射光强度。尽可能地考虑到影响浊度测量的所有因素，确定了水样池的零件图。

第二、三节介绍了光电器件的选型。首先考虑国际标准 ISO7027《水质—浊度的测定》中散射光测定法对发光器件的要求，参照各种发光器件的特性，确定采用高强度长寿命近红外且管头安装有环氧密封的透镜 LED 光源。光电接受器根据其线性特性，选择 890nm 的光电二极管。

本章依据国际标准 ISO7027 的要求，从机械方面确定了水样池的零件图。并根据国内外浊度仪所使用的光电器件的现状，结合本地情况，从实际出发，尽可能地选用了合适的光电器件。

第五章浊度仪硬件设计

5.1 电源电路

电源为线性电源，电源电路图如图 5-1 所示：

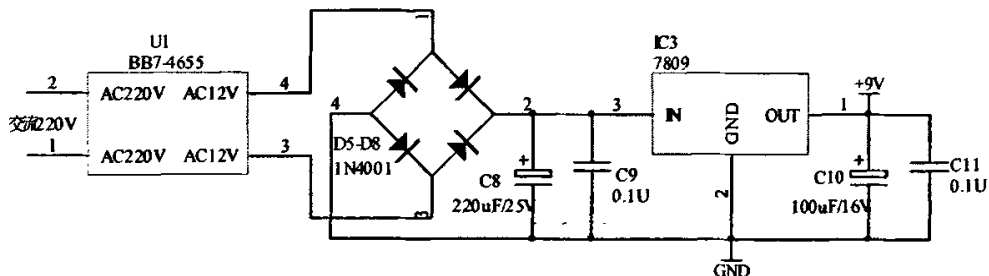


图 5-1 电源电路图

Fig5- 1Power supply circuit

输入电压为交流 220V，通过交流变压器 BB7-4655 降压到 12V，经过 1N4001 组成的整流电路，再经过三端稳压器 7809。输出电压为直流+9V。

光电接受管，一级运算放大电路为+5V 供电。

二级运算放大电路为+9V 供电。

发光电路采用+12V 供电。

5.2 发光电路

发光电路图如图 5-2 所示^[21]：

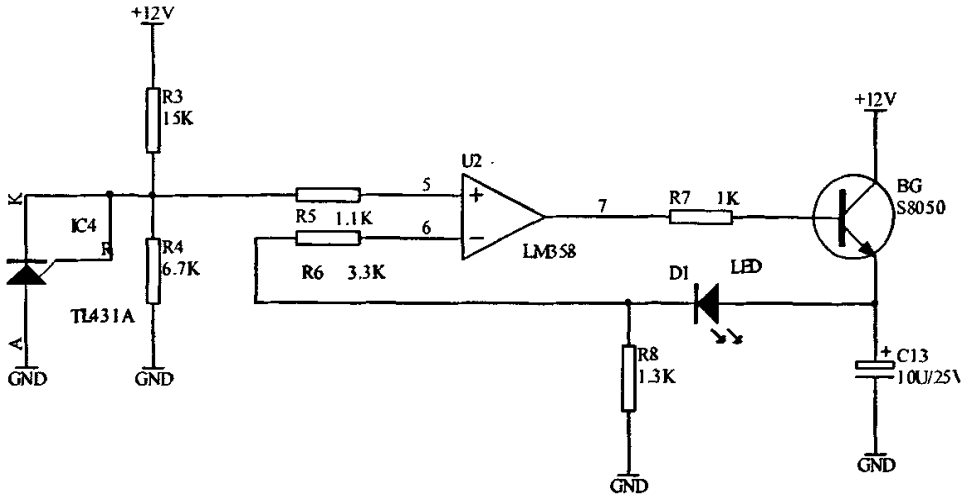


图 5-2 发光电路图

Fig5- 2Photosensitive diode circuit

5.2.1 TL431A 可调节精密基准电源并联稳压电路

TL431A 可调节精密基准电源并联稳压器， $V_{ref}=2.5V$ ，为固定参考值。TL431A 可调范围从 2.5V 到 36V。将 V_{ref} 端和负端短接，所以 $V_k=V_{ref}=2.5V$ ，电压稳定在 2.5V。 R_3 为限流电阻， R_4 为分流电阻。

5.2.2 比较电路

LM358 作为比较器，供电电压为 12V， R_5 输入电压为 2.5V， R_6 的输入电压为 2.5V 时，7 脚输出电压为 4.68V，输出电流为 $68\mu A$ 。当 D_1 的电压降低， R_5 的电压降低，低于 2.5V 时， U_2 的 7 脚电压升高，电流增大，驱动 S8050 的电流增大，经过 S8050 的功率放大， D_1 的电流增大，电压升高。相反，如果当 D_1 的电压升高， R_5 的电压升高，高于 2.5V， U_2 的 7 脚电压降低，电流减少，驱动 S8050 电流减少，经过 S8050 的功率放大。 D_1 的电流减少，电压降低。

5.2.3 功放电路

三极管 S8050 作为功率放大，放大发射极的电流，驱动发光管。驱动电流为 30mA，实际输出电流 19.2mA。

$$I_b = 68\mu\text{A}$$

$$I_e = 19.2\text{mA}$$

$$I_c = I_e - I_b = 19.2 - 0.068 = 19.132\text{mA} \quad (5-1)$$

$$\beta = I_c / I_b = 19.132 / 0.068 = 281 \quad (5-2)$$

$$V_{ce} = 8.15\text{V}, V_{bc} = 7.5\text{V}, V_{be} = 0.6\text{V}, V_e = 3.95\text{V}$$

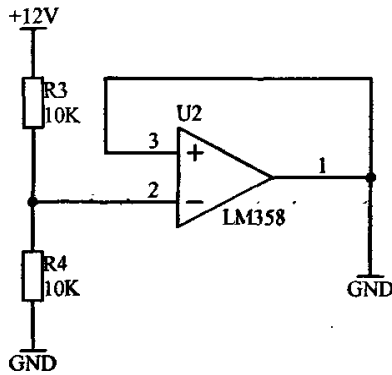


图 5-3 消除干扰电路图

Fig5-3 Eliminate interference circuit

同时为消除干扰，将 LM358 的另一个放大器的 1、3 脚接地。如图 5-3 所示。

5.3 运算放大电路

5.3.1 LM358 运算放大电路

运算放大器采用 2 级放大，当第一级运放采用 LM358 时，当测量 0 浊度基准输入电压为 10mV，采用差分放大电路，先得基准电压：

如图 5-4 所示：

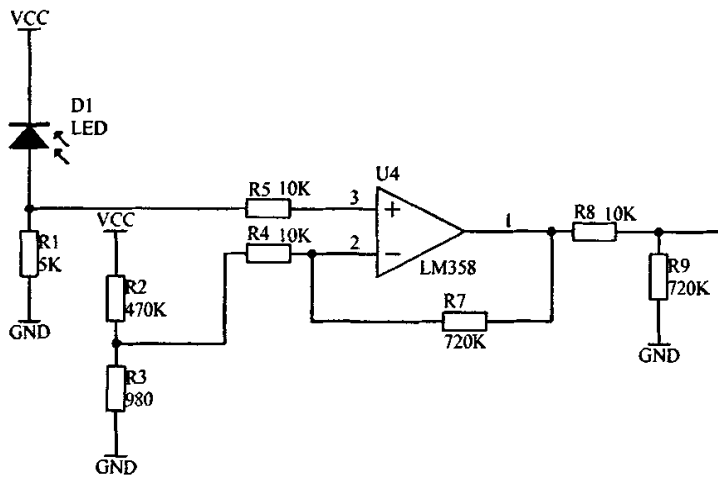


图 5-4LM358 一级运算放大电路图

Fig5- 4LM358 operational amplifier circuit

供电电压 $VCC=+5V$ ，负端做输入端，正端做基准端，输入电阻 $10K$ ，反馈电阻 $720K$ 。

$$\frac{(5V - 10mV)}{470K} * R3 = 10mV$$

$$\text{得 } R3 = 980$$

标准 400 浊度液，信号输入电压 $30mV$ ， $30 - 20 = 20mV$ ，一级输出电压 $1.2V$ ，一级放大 72 倍，二级放大 3 倍，得到的二级输出电压 $3.6V$ 。

测量数据如表表 5-1 所示：

表 5-1LM358 作为一级运放的测量数据

Table 5-1LM358 measurment output as operational amplifier

输入电压	A/D 值	理论验证值
0V	0X00	0
0.5V	07	19
1V	2B	33
2.3V	69	75
3.5V	AF	B2
3.85V	C2	C4
5V	FF	FF

根据 Atmega16 的 A/D 公式：

$$A/D=V_{in} \cdot 255/V_{ref} \quad (5-3)$$

$$V_{ref}=5V$$

具体测量浊度时，发现测量 150 浊度以下的液体时，无读数。

5.3.2 AD623 单电源仪表放大器

对放大电路进行改进，一级运算放大器改为单电源仪表放大器 AD623。

管脚定义如表 5-2 所示^{[22][23]}：

表 5-2AD623 管脚定义
Table 5-2Pin definition of AD623

管脚序号	英文缩写	引脚功能
1	-R _G	增益电阻的负端
2	-IN	输入负端
3	+IN	输入正端
4	-V _s	电压负端
5	REF	参考端
6	OUTPUT	输出端
7	+V _s	电压正端
8	+R _G	增益电阻的正端

AD623 是一种在三运放仪表放大器电路基础上经过改进的仪表放大器以保证单电源工作，甚至能工作在共模电压或者低于负电源电压（接地电压）。特点包括 R-R 输出电压摆幅，低电源电流，超小型封装，低输入和输出失调电压， μV 级 DC 失调电压漂移，高 CMR（共模抑制），以及只用一只外部电阻器设置增益。

如图 5-5^[20]所示，输入信号加到 PNP 三极管作为电压缓冲器和 DC 电平移位器。在每个放大器反馈路径中采用一支精度调整到 0.1% 以内的 50K 电阻器保证精确的增益设置。

差分输出为：

$$V_o=(1+100K/R_G)V_c \quad (5-4)$$

其中 R_G 以 $K\Omega$ 为单位。

使用输出差分放大器，将差分电压转换为单端电压，也抑制了输入放大器输出端上

的任何共模信号。

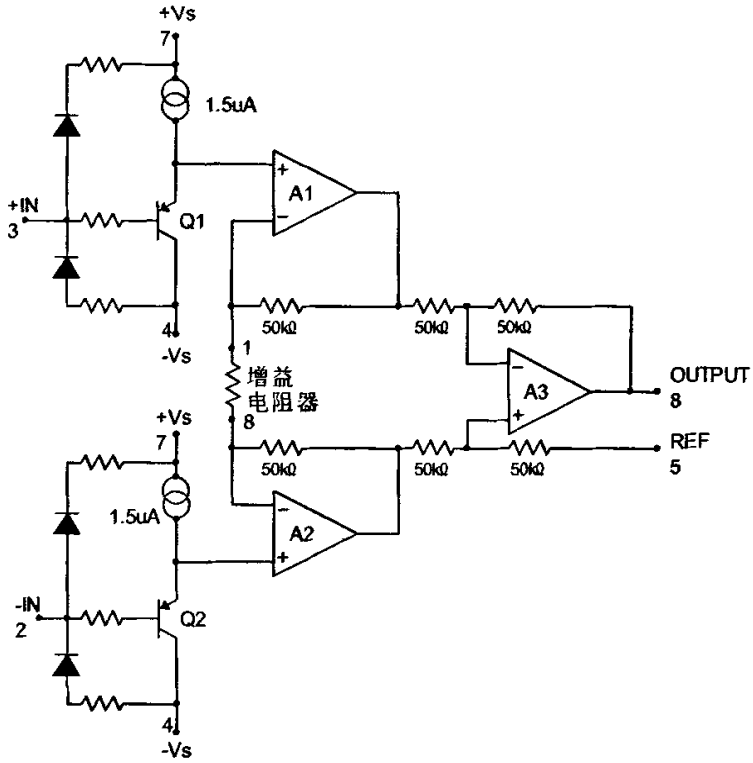


图 5- 5AD623 原理图

Fig5- 5AD623 Schematic circuit

AD623 的增益是通过引脚 1 和 8 之间的 R_g 增益电阻进行设置的。图 5-6^[20]为 AD623 的增益与频率的关系。AD623 使用 0.1%~1% 允许误差的电阻器经过激光微调以达到精确增益。

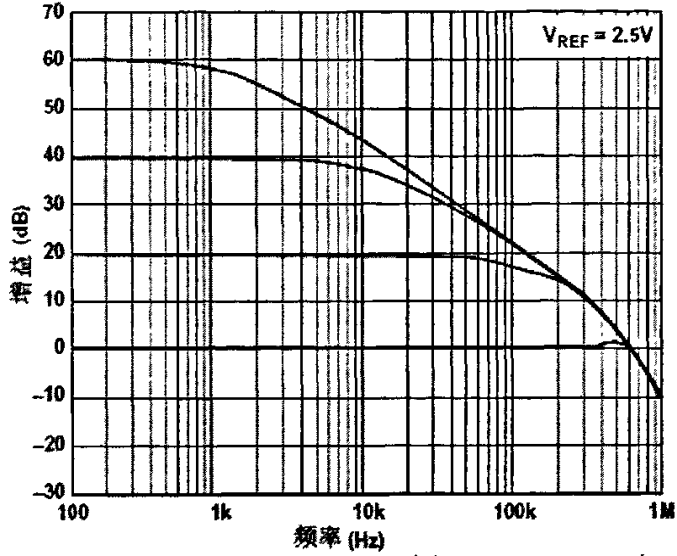


图 5-6AD623 的闭环增益与频率的关系

Fig5- 6AD623 Close Loop Frequency Response

AD623 增益电阻器阻值如表 5-3 所示:

表 5-3 AD623 增益电阻器的要求阻值

Table5-3AD623 Gain Resistance

要求的增益	R_G 选用的 1%标准阻值	用 1%标准阻值计算的增益
2	100K	2
5	24.9K	5.02
10	11K	10.09
20	5.23K	20.12
33	3.09K	33.36
40	2.55K	40.21
50	2.05K	49.78
65	1.58K	64.29
100	1.02K	99.04
200	499	201.4
500	200	501
1000	100	1001

上表为对应各种增益所需要的 R_G 值。

对于 $G=1$, R_G 两端不连接 (R_G 为无穷大)。

对于任何任意的增益, R_G 可试用以下的公式计算:

$$R_G = 100K\Omega / (G - 1) \quad (5-5)$$

在测量中, 取 $R_6=5.1K$, 放大倍数为 20 倍。

5.3.3 AD623 一级运算放大电路

电路图如图 5-7 所示:

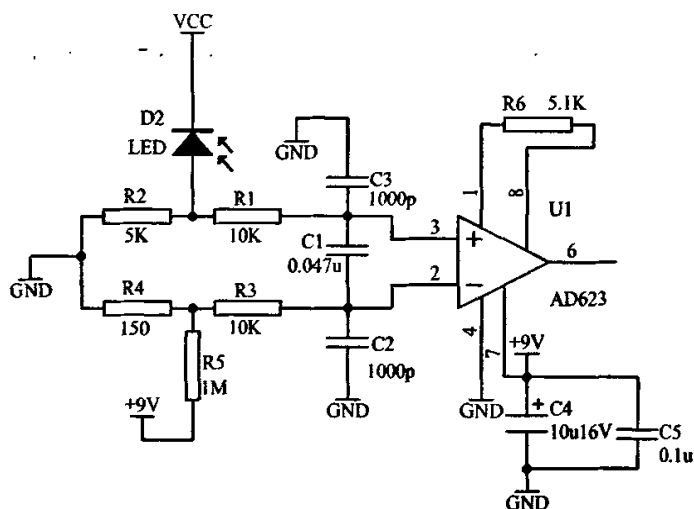


图 5-7AD623 一级运算放大电路图

Fig5- 7AD623 operational amplifier circuit

当采用+5V 供电时, 在测量 1000 浊度液饱和。

测量方法改进:

AD623 的 1 和 8 脚为反馈电阻, 反馈电阻值为 5.1K。输入电阻 10K。

0 浊度基准输入电压 0.2mV。

2 脚端 $R_5=1M\Omega$, 输入电阻 $R_3=10K$, 调零电阻 $R_4=150\Omega$, 2 脚电压恒定为 1.3mV, 6 脚输出误差为 5.1mV。

测量数据如表 5-4 所示:

表 5-4 AD623 作为一级运放的各管脚电压值

Table5- 4 AD623 pin voltage

浊度值	AD623 2 脚	AD623 3 脚	AD623 6 脚	放大倍数
0NTU	1.3mV	0.2mV	5.1mV	
100NTU	1.3mV	4.6mV	63.4mV	17.6
200NTU	1.3mV	8.7mV	146.4mV	19.1
300NTU	1.3mV	12.7mV	225mV	19.3
400NTU	1.3mV	15.6mV	283mV	19.4
500NTU	1.3mV	19.8mV	366mV	19.5
600NTU	1.3mV	22.8mV	426mV	19.58
1000NTU	1.3mV	31.1mV	595mV	19.6
1500NTU	1.3mV	36.5mV	701mV	19.88
2000NTU	1.3mV	38.2mV	736mV	19.7

二级放大为 LM358，为同相比例运算电路，正端输入电阻 $R7=10K$ ，负端和 1 脚的反馈电阻 $R9=51K$ ，电路图如图 5-8 所示：

$$U_2 = U_3 = U_i$$

$$I_{R7} = I_{R9}$$

$$\text{所以： } (U_2 - 0) / R8 = (U_o - U_2) / R9$$

$$U_o = (1 + R9 / R8) U_2 = (1 + R9 / R8) U_i$$

$$U_o = (1 + R9 / R8) U_i$$

$$\text{得：放大倍数} = (1 + R9 / R8) = 1 + 5.1 = 6.1$$

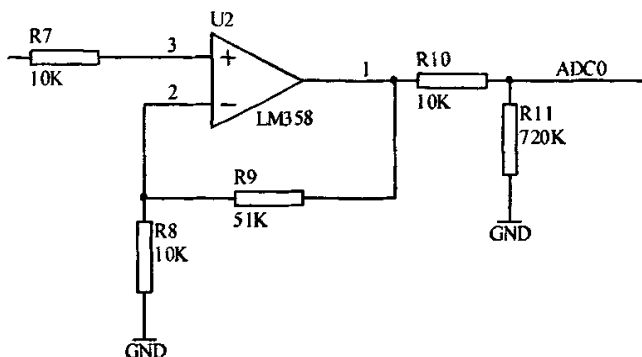


图 5- 8LM358 二级运算放大电路图

Fig5- 8LM358 operational amplifier circuit

测量数据如表 5-5 所示:

表 5- 5 运放的放大倍数测量值

Table5-5Amplifier pin voltage

AD623 6 脚	LM358 3 脚	LM358 2 脚	LM358 1 脚	放大倍数
5.1mV	5.3mV	5.8mV	33.1mV	6.2
63.4mV	63.4mV	63.8mV	401mV	6.3
146.4mV	146.2mV	147mV	928mV	6.3
225mV	225mV	225mV	1.431V	6.3
283mV	283mV	283mV	1.805V	6.3
366mV	366mV	366mV	2.32V	6.3
426mV	426mV	426mV	2.7V	6.3
595mV	595mV	595mV	3.76V	6.3
701mV	701mV	701mV	4.44V	6.3
736mV	736mV	736mV	4.66V	6.3

5.4 ATmega16 控制电路

5.4.1 ATmega16 芯片特性

控制电路为高性能，低功耗的 8 位 AVR 微处理器 ATmega16。芯片特性如下^[24]。

(1)先进的 RISC 结构

- 131 条指令-大多数指令执行时间为单个时钟周期
- 32 个 8 位通用工作寄存器
- 全静态工作
- 工作于 16MHz 时性能高达 16MIPS
- 只需两个时钟周期的硬件乘法器

(2)非易失性程序和数据存储器

- 16K 字节的系统内可编程 Flash
- 具有独立所定位的可选 Boot 代码区, 通过片上 Boot 程序实现系统内编程,

真正的同时读写操作

- 512 字节的 EEPROM
- 1K 字节的片内 SRAM
- 可以对锁定位进行编程以实现用户程序的加密

(3)JTAG 接口 (与 IEEE 1149.1 标准兼容)

- 符合 JTAG 标准的边界扫描功能
- 支持扩展的片内调试功能
- 通过 JTAG 接口实现对 Flash,EEPROM,熔丝位和锁定位进行编程

(4)外设特点

- 两个具有独立预分频器和比较器功能的 8 位定时器/计数器
- 一个具有预分频器, 比较功能和捕捉功能的 16 位定时器/计数器
- 具有独立振荡器的实时计数器 RTC
- 四通道 PWM
- 8 路 10 位 ADC, 8 个单端通道, TQFP 封装的 7 个差分通道, 2 个具有可编

程增益 (1×, 10×, 200×) 的差分通道

- 面向字节的两线接口
- 两个可编程的串行 USART
- 可工作与主机/从机模式的 SPI 串行接口
- 具有独立片内振荡器的可编程看门狗定时器
- 片内模拟比较器

(5)特殊的处理器特点

- 上电复位以及可编程的掉电检测
- 片内经过标定的 RC 振荡器
- 片内/片外中断源
- 6 中睡眠模式：空闲模式、ADC 噪声抑制模式、省电模式、掉电模式、

Standby 模式以及扩展的 Standby 模式

(6) I/O 和封装

- 32 个可编程的 I/O 口
- 40 引脚 PDIP 封装，44 引脚 TQFP 封装于 44 引脚 MLF 封装

(7) 工作电压

- ATmega161: 2.7-5.5V
- ATmega16: 4.5-5.5V

(8) 速度等级

- ATmega161: 0-8MHz
- ATmega16: 0-16MHz

(9) ATmega161 在 1MHz, 3V, 25°C 时的功耗

- 正常模式: 1.1mA
- 空闲模式: 0.35mA
- 掉电模式: <1 μ A

5.4.2 ATmega16 控制电路

采用 44 引脚的 TQFP 封装形式。电路图如图 5-9 所示：

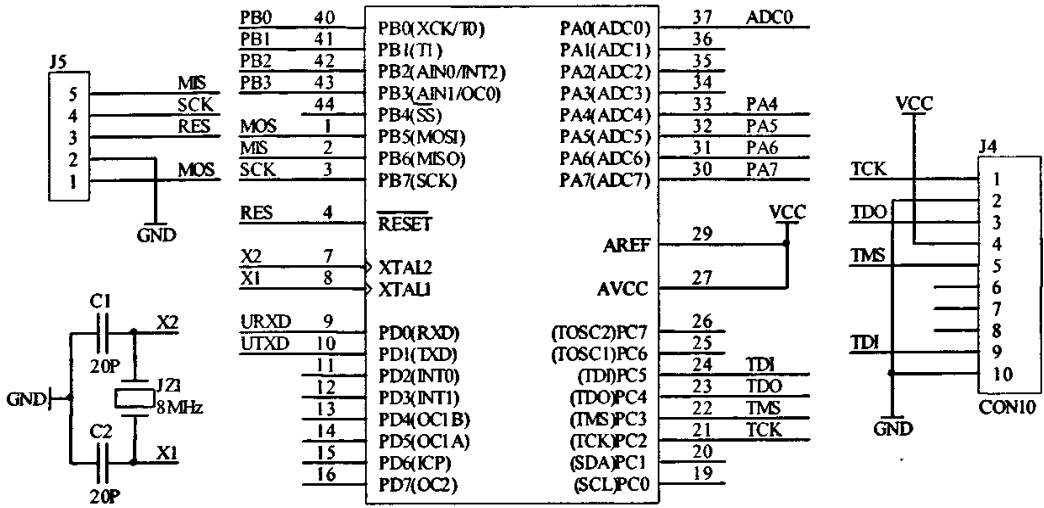


图 5- 9ATmega16 控制电路图

Fig5- 9ATmega16 control circuit

5.4.3 晶振电路

XTAL1 为反向振荡放大器与片内时钟操作电路的输入端。

XTAL2 为反向振荡放大器的输出端。

5.4.4 SPI 接口

SPI 接口为 ATmega16 的同步串行接口，ATmega16 和外设或其他 AVR 器件进行高速的同步数据传输。对于 SPI 主机来说，发送的数据由 MOSI 端口送出，接受的数据由 MISO 端口输入。对于 SPI 从机来说，发送的数据由 MISO 端口送出，接受的数据由 MOSI 端口输入。

管脚定义如下：

MOS SPI 通道的主机数据输出，从机数据输入端口。

RES 从机选择输入。

SCK SPI 通道的主机时钟输出，从机时钟输入端口。

MIS SPI 通道的主机数据输入，从机数据输出端口。

5.4.5 JTAG 接口

JTAG 接口的特点:

(1)与 IEEE 1149. 1 标准兼容的 JTAG 接口

(2)遵从 IEEE 1149. 1 标准的边界扫描功能

(3)调试器可以访问:

- 所有的片内外设
- 内部和外部 SRAM
- 寄存器文件
- 程序计数器
- EEPROM 和 Flash 存储器

(4)片上调试系统 OCD 支持各种断点

- AVR Break 指令
- 程序流程改变
- 单步
- 单个地址或一个地址范围的程序断点
- 单个地址或一个地址范围的数据断点

(5)通过 JTAG 接口对 Flash、EEPROM、熔丝位和锁定位进行编程

(6)AVR Studio 支持 OCD

几乎所有的高速控制器和可编程器件都配有标准仿真接口, ATmega16 也不例外。

JTAG 扫描逻辑电路用于仿真和测试, 采用 JTAG 可实现在线仿真, 同时也是调试过程装载数据、代码的通道。通过 JTAG 接口可将仿真器与目标系统相连接。

管脚定义如下:

TCK 测试时钟。JTAG 操作是与 TCK 同步的。

TDO 测试数据输出。自指令寄存器或数据寄存器串行移出的数据。

TMS 测试模式选择。此引脚用来实现 TAP 控制器各个状态之间的切换。

TDI 测试数据输入。需要移位到指令寄存器或数据寄存器(扫描链)的串行输入数据。

5.4.6 A/D 转换电路

ATmega16 有一个 10 位的逐次逼近型 ADC。ADC 于一个 8 通道的模拟多路复用器连接，能对来自端口 A 的 8 路单端输入电压进行采样。单端电压输入以 0V(GND)为基准。还支持 16 路差分电压输入组合。两路差分输入 (ADC1、ADC0 与 ADC3、ADC2) 有可编程增益级，在 A/D 转换前给差分输入电压提供 0dB(1×)、20dB(10×)或 46dB(200×)的放大级。7 路差分模拟输入通道共享一个通用负端 (ADC1)，而其他任何 ADC 输入可做为正输入端。如何使用 1×或 10×增益，可得到 8 位分辨率。如果使用 200×增益，可得到 7 位分辨率。

ADC 包括一个采样保持电路，以确保在转换过程中输入到 ADC 的电压保持恒定。

ADC 由 AVCC 引脚单独提供电源，AVCC 与 Vcc 之间偏差不能超过±0.3V。以更好地抑制噪声。

如果选择差分通道，通过选择被选输入信号队的增益因子得到电压差分放大级。然后放大值成为 ADC 的模拟输入。如果使用单端通道，将绕过增益放大器。模拟输入通道与差分增益可以通过写 ADMUX 寄存器的 MUX 位来选择。任何 ADC 输入引脚，都可以作为 ADC 的单端输入，ADC 输入引脚可选作差分增益放大器的正或负输入。

标称值为 2.56V 的基准电压，以及 AVCC，都位于器件之内。

ADC 的参考电压源 (AREF) 反映了 ADC 的转换范围。如果单端通道电平超过了 AREF,其结果将接近 0×3FF。AREF 可以是 AVCC,内部 2.56V 基准获外接于 AREF 引脚的电压。

ADC 转换结束后 (ADIF 为高)，转换结果被存入 ADC 结果寄存器 (ADCL, ADCH)。单此转换的结果如下：

$$ADC = \frac{V_{IN} \cdot 1024}{V_{REF}} \quad (5-6)$$

式中， V_{IN} 为被选中引脚的输入电压， V_{REF} 即 AREF 为参考电压。

使用差分通道，ADC 转换结果是：

$$ADC = \frac{(V_{POS} - V_{NEG}) \cdot GAIN \cdot 512}{V_{REF}} \quad (5-7)$$

式中， V_{POS} 为输入引脚正电压， V_{NEG} 为输入引脚负电压， $GAIN$ 为选定的增益因子，

V_{REF} 为参考电压。结果用 2 的补码形式标示，从 0×200 ($-512d$) 到 $0 \times 1FF$ ($+511d$)。

5.4.6 USART 异步串行通信接口

USART 接口为全双工的异步串行接口，这个串行口既可以用于单片机与外设的低速通信，也可以用于单片机与单片机、单片机与 PC 机的通信。USART 接口分为数据发送单元和数据接收单元两个部分。数据发送单元接受来自单片机的并行数据，在内部时钟和移位逻辑的控制下，将给数据经 TXD 短串行发出；数据接收单元则从 RXD 端接受串行数据，通过内部的数据恢复逻辑和移位寄存器将接收到的串行数据保存到接受缓冲器中。

由 ATmega16 的 9 脚 (RXD)，10 脚 (TXD) 通过电平转换芯片 AD238AN 连接到标准的串口。

AD238AN 可以实现 232 电平和 TTL 电平的相互转化，泵电容为 $33\mu 16V$ 的钽电容。

电路图如图 5-10 所示：

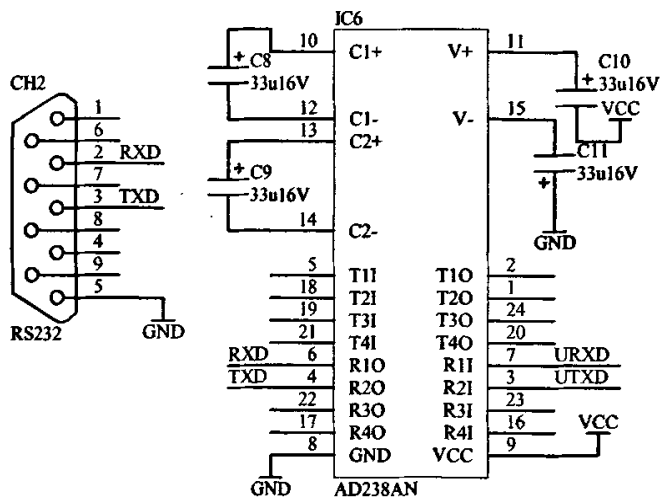


图 5-10 ATmega16 异步串行通信电路图

Fig5- 10ATmega16 USART circuit

5.5 本章小结

第一节介绍了浊度仪的电源电路，将原来朝阳的开关电源改为线性电源。以减少在

运算放大电路中，对一级放大信号的干扰。

第二节针对发光电路，使用 TL431A 可调节精密基准电源并联稳压器为发光器件提供恒稳的电压值，经过比较器和功率放大电路，给发光器件提供恒定的电压。

第三节介绍了运算放大电路，开始使用 LM358 做两级放大，只能对部分电压放大。使用单电源仪表放大器 AD623 作为第一级放大，放大倍数为 20，LM358 作为第二级放大，放大倍数为 6.1。对各种器件的供电电压作调整，取得良好的放大效果。

第四节介绍了本浊度仪的控制电路和 AVR 微处理器 ATmega16 芯片。详细说明了 SPI 接口、JTAG 接口、A/D 转换电路和 USART 异步串行通信接口等外围电路。

本章描述了浊度仪的所有硬件电路，介绍了整个浊度仪的电路设计，结合第四章，提出了完整的浊度仪硬件设计方案。

第六章 浊度仪软件设计及试验测量

6.1 ICCAVR 编译器

ICC AVR 是由 ImageCraft 公司开发的一种针对 AVR 系列单片机设计的 C 语言编译器。采用 ANSI 标准的 C 语言来开发微控制器 (MCU) 程序, 具有以下几个方面的特点 [25][26] :

- ICC AVR 是一个运行于 Windows 9X/NT 的集成开发环境 (IDE), 包括单片机软件开发所需要的编辑器, 工程管理器和 C 编译器。

- ICC AVR 采用了工程的组织形式, 程序的所有源文件全部以工程的一个要素保存在工程中, 程序的编译和编辑也都在这个环境中进行。编译错误显示在状态窗口中, 当用鼠标单击编译错误时, 光标会自动调到编译窗口中引起错误的那一行。工程管理器最后还能生成 HEX 格式的烧录文件和 COFF 格式的仿真文件。

6.2 AVR 集成开发环境

ATMEL AVR Studio 集成开发环境 (IDE), 包括 AVR Assembler 编译器, AVR Studio 调试功能, AVR Prog 串行和 JTGA 下载功能, JTGA ICE 仿真功能等。

AVR Assembler 编译器可以对源文件进行编译、汇编生成 .OBJ/.HEX/.LIS 文件、搜寻、选项 (生成汇编文件格式)、窗口、帮助等操作。汇编出错有错误定位、错误指示, 便于原文件排错。

AVR Studio 可以对源文件进行 DEBUG 调试 (装入 .OBJ 目标文件, 以源文件格式显示调试, 如装入 .HEX 文件, 已反汇编格式显示地址、机器码、指令等格式调试) 排错、断点、单步、自动单步、触发、注视、选项、查看、窗口、帮助等操作。调试中可以打开多种窗口: I/O 窗口、源文件窗口、CPU 窗口、记录窗口、数据窗口等。

AVR Prog 为串行下载软件。当接通下载线时, 一头接 PC 机 RS232 串行口, 另一头接下载开发试验器, 接上电源线。

JTGA ICE 仿真功能支持所有带 JTAG 接口的 AVR 芯片, 由 PC 进行编程、控制、

片上调试和编程下载。

6.3 A/D 转换寄存器设置

6.3.1 ADC 多工选择寄存器 ADMUX

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0
初值	0	0	0	0	0	0	0	0

REFS1 和 REFS0 均为 0，参考电压选择 AREF,内部 Vref 关闭。

ADLAR 为 0，ADC 转换结果在 ADC 数据寄存器中的存放形式为右对齐。

MUX4:0 为 00000，选择单端输入 ADC0,不使用差分通道增益。

6.3.2 ADC 控制和状态寄存器 ADCSR

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0
初值	0	0	0	0	0	0	0	0

ADEN 为 ADC 使能，置位即启动 ADC

ADSC 在单次转换模式下，ADSC 置位将启动一次 ADC 转换

ADATE 置位将启动 ADC 自动触发功能

ADIF 为 ADC 中断标志

ADIE 为 ADC 中断使能

ADPS2:0 确定 XTAL 与 ADC 输入之间的分频因子，110 选择分频因子为 64

6.4 异步串行口通信

6.4.1 USART 控制和状态寄存器 A-UCSRA

USART 控制和状态寄存器 A-UCSRA

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	RXC	TXC	UDRE	FE	DOR	PE	U2X	MPCM

初值 0 0 0 0 0 0 0 0

RXC 置 0, USART 接受结束

TXC 置 0, USART 发送结束

UDRE 置 1, USART 数据寄存器空

FE 置 0, 帧错误

DOR 置 0, 数据溢出

PE 置 0, 奇偶校验错误

U2X 置 0, 倍速发送

MPCM 置 0, 多处理器通信模式

6.4.2 USART 控制和状态寄存器 B-UCSRB

USART 控制和状态寄存器 B-UCSRB

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	UCSZ2	RXB8	TXB8

初值 0 0 0 0 0 0 0 0

RXCIE 置 0, 接受结束中断使能

TXCIE 置 0, 发送结束中断使能

UDRIE 置 0, USART 数据寄存器中断使能

RXEN 置 0, 接受使能

TXEN 置 1, 发送使能

UCSZ2 置 0

RXB8 置 0, 接收数据位 8

TXB8 置 0, 发送数据位 8

6.4.3 USART 控制和状态寄存器 C-UCSRC

USART 控制和状态寄存器 C-UCSRC

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	URSEL	UMSEL	UPM1	UPM0	USBS	USBZ1	USBZ0	UCPOL
初值	0	0	0	0	0	0	0	0

URSEL 置 0

UMSEL 置 0, 异步模式操作

UPM1 置 0, UPM0 置 0, 无奇偶校验模式

USBS 置 0, 1 位停止位

UCSZ2: 0 置 011, 8 位字符长度

UCPOL 置 0

6.4.4 异步串行口通信程序

```
void USART_Transmit(int x)//串口发送数据
```

```
{
    //等待数据寄存器空

    while(!(UCSRA&0X20));
    UDR=x;
}
```

```
void main()
```

```
{
    UBRRH=0;//设置波特率 9600
    UBRRL=51;
    UCSRC=0X06;//N,8,1

    UCSRB=0X08;//发送使能

    while(1)
    {
        USART_Transmit(addata);
    }
}
```

}
}

6.4.5 PC 机显示画面

PC 机的显示画面为串口调试助手 SComAssistant V2.1。如图 6-1 所示：

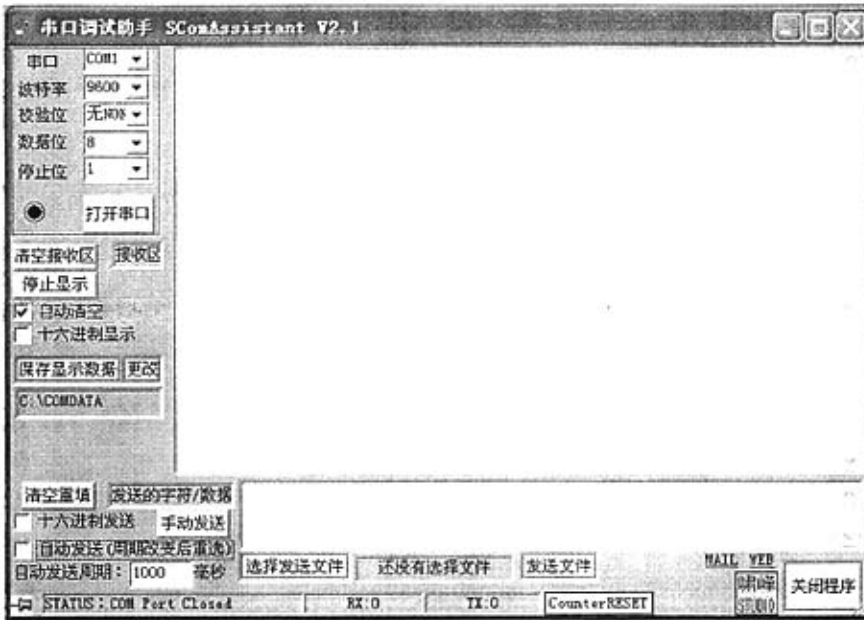


图 6-1PC 机的串口调试显示画面

Fig6- 1Interface of PC debugging

6.5 气泡处理

采用浊度仪对水质的浊度进行检测，由于测量信号一般是弱电信号，所以干扰对数据采集的影响不可忽略，当水中有个别气泡产生的散射光发生突变，从而使 A/D 采样值造成突变。

890nm 近红外光源以 90° 角度入射，光电接收管接收到散射光后，将散射光强 I 转换成电信号。由瑞利定律：

$$I_r = \frac{K}{\lambda^4} NV^2 \left(\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2 + 2n_2^2} \right)^2 I_0 \quad (3-2)$$

式中， λ 为入射光波长， N 为单位体积试样中的粒子， V 为单位粒子的体积， n_1 为微粒的折射率， n_2 为介质的折射率， I_0 为入射光强。

当气泡到来时，由于气泡和水是不同种物质，所以 n_2, n_1, V, N 都发生变化，因此 I 就发生突变，因为气泡出现的数量和时间都是随机的，因此引入数据采集的误差也是随机的。要克服随机误差可以考虑从 2 个方面采取措施：一是使用机械除泡，除气泡设备；二是滤波。

6.5.1 机械除泡

(1) 对于实验室使用的浊度仪器来说，测试液体放在试管里，不可能产生大的气泡。

(2) 在线式的浊度仪器，需要设计在线式的水样池^[27]。

在线式的水样池原理图如图 6-2 所示：

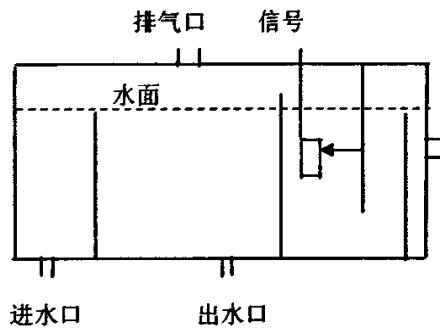


图 6-2 在线式的水样池原理图

Fig6- 2Online water specimen pool principle

水从取样处经过水阀门从进水口进入水样池内，水从隔板上方溢出后进入右侧容积大的容器，该容器横截面比较大，水的流速缓慢，通过排气口可以排除空气，消除大的明显的气泡，然后水经该容器底部的缺口流入右侧较窄的测量筒内，经右侧的溢水口排出。这样，在测量筒中能保持一相对稳定的水平面来测量浊度。容积大的容器底部还有一出水管，作为清洗时的排水口，同时是较大的杂质经过此口排出，不会积累在容器的底部。红外接收管安装于侧面，接收平行于水面的散射光。

6.5.2 机械除泡零件图

机械零件图如下图所示:

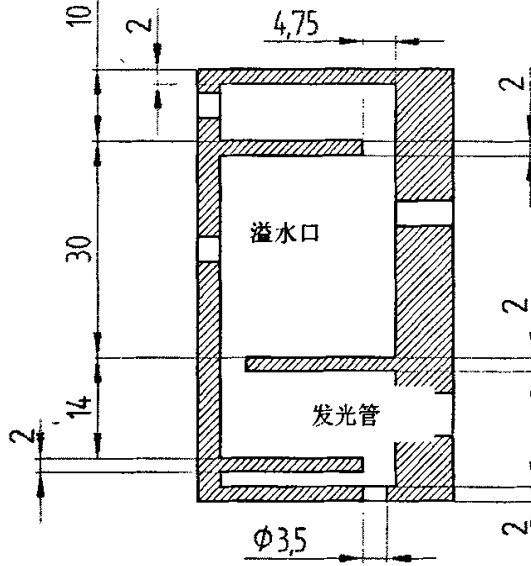


图 6-3A-A 剖视图

Fig6-3A-A cut open view

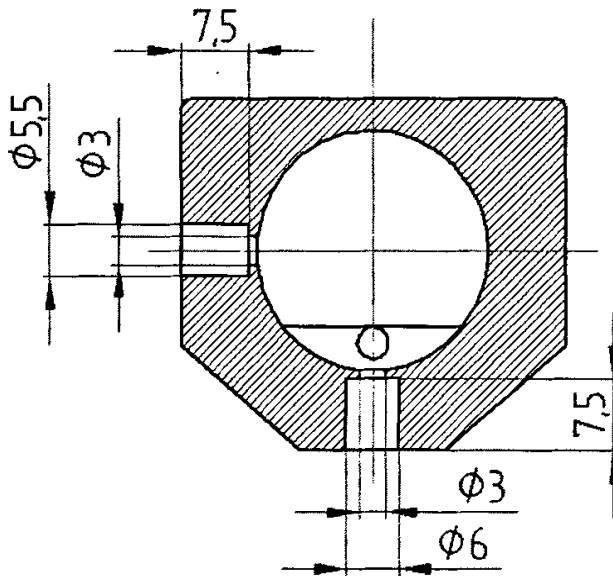


图 6-4B-B 剖视图

Fig6-4B-B cut open view

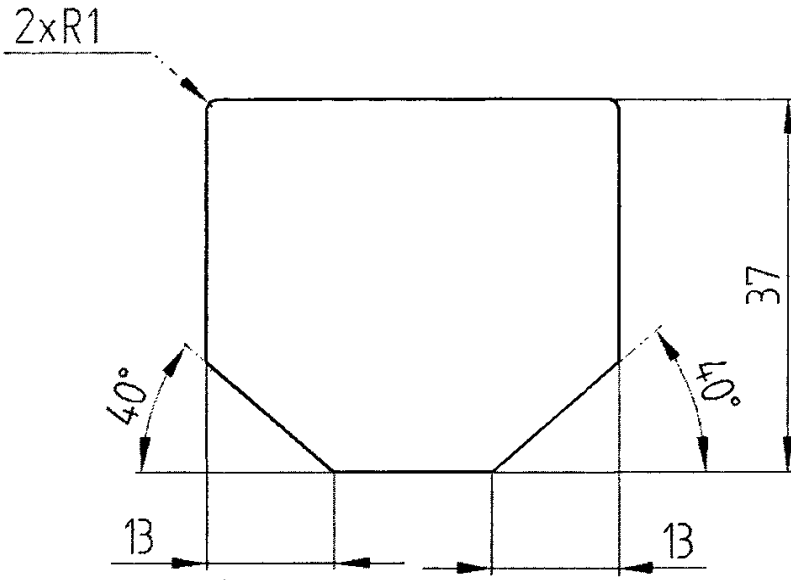


图 6-5 俯视图

Fig6-5Vertical view

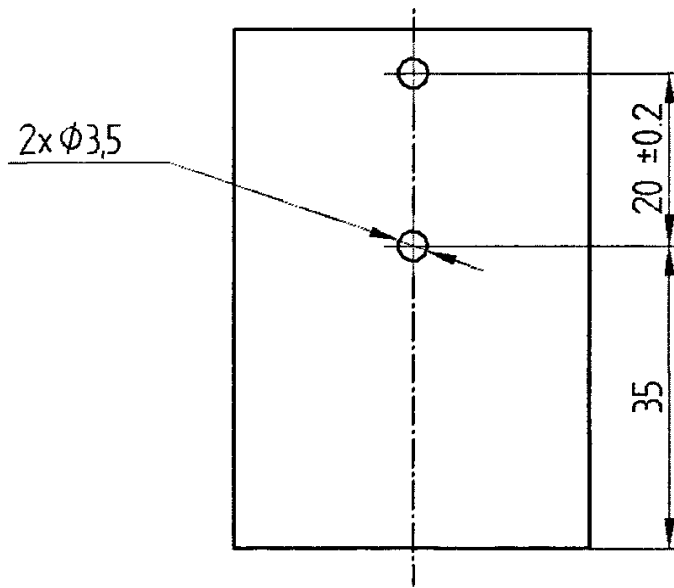


图 6-6 后视图

Fig6-6Block view

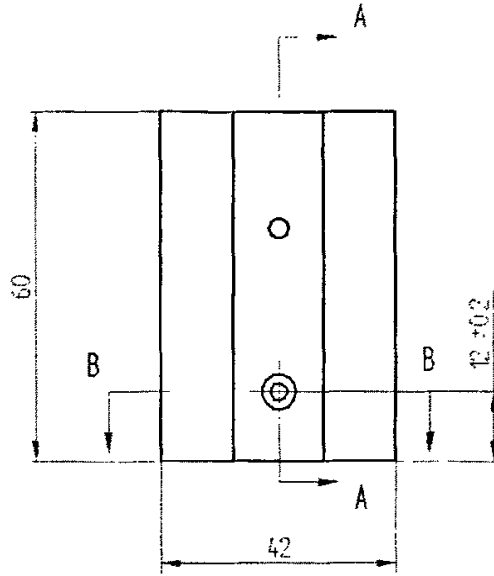


图 6-7 正视图

Fig6-7Front elevation

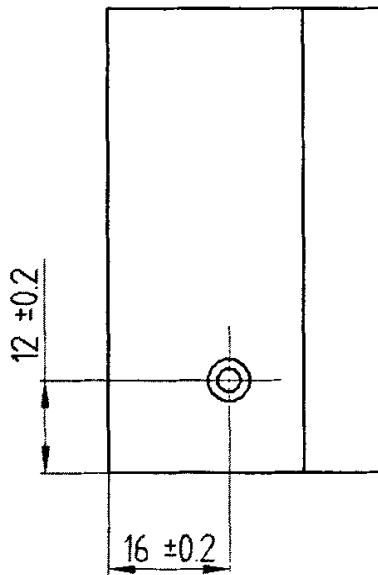


图 6-8 左视图

Fig6-8Left elevation

在线式浊度测量使用起来比较困难，水样中的有机物和无机物的固体会结在水样池中，在发光管和接收管的表面会沉淀污染物，这种结膜会阻止发光管的发光，同时会防止接收管的收光，污染物逐步加速生长，因此需要定期清洁与水样接触的表面。需继续研究水样池的清洁问题。

6.5.3 数字滤波除泡算法

本仪器使用了软件滤波^[28]，也就是数字滤波，通过一定的计算程序对采样信号进行平滑处理，提高有用信号强度，消除或减少各种干扰，以保证计算机系统采集数据的可靠性。数字滤波与传统的硬件滤波相比具有以下优点：(1) 不需增加任何硬件，只要在程序经入数据处理和控制算法之前，增加一段数字滤波即可，从而简化了系统硬件。(2) 数字滤波可以多个通道共用，因而降低了成本。(3) 只要适当改变滤波程序参数，就能方便地改变滤波特性，使用灵活方便。

对于浊度仪器来说，被测量的对象是水的浑浊度，变化过程一般较为缓慢，通过试验证明，水中气泡产生的散射光强 I 发生变化， I 值只会变大而不会变小，也就是说气泡干扰具有单边性的特点。气泡引起光散射增强，造成干扰，不反映水体的浊度值，应去除。

数字滤波算法，采用分段，加权，限幅综合滤波算法。

采样数据先依次进入长度为 8 个元素的 FIFO 数据窗队列，求均值 \bar{D} ，采样第 9 个元素与 FIFO 队列的元素均值 \bar{D} 比较，调用分段加权滤波处理，产生一个对应的数据值 D^i ，经过 8 次比较得出 8 个 D^i 值，再对其求均值，完成数据处理过程，其过程如下：

(1)使用滑动平均法管理数据 在单片机的存储器中开长度为 $S=2^3$ 作为数据缓冲区，建立一个先进先出的 FIFO 队列，用来存放采样的数据，队列中的元素有 $d^1, d^2, d^3, \dots, d^8$ 。

采样的新数据从队尾依次进入队列，与此同时旧数据从队头出队，这样始终保持队列中元素的个数不变，对其进行计算，这便于单片机编程，可以通过移位进行快速除法运算。

(2)分段加权处理采样数据

数据 D^i 加权平均公式为：

$$D^i = \frac{DK + \bar{D}(N-K)}{N} \quad (6-1)$$

新采样的数据 D 与 D^i ， D^j ， D^0 进行比较，如图 6-9^[28]所示：

当 $D^0 < D < D^j$, 为正常的的数据, 令 $K=N$, $D^i=D$, 该数据值完全可以采用。

D^0 : 0 浊度水的采样数据值。根据实际测量结果, 0 浊度水的采样数据值为 1。

当 $D < 1$, 采样的数据值比零浊度水的采样数据值还小, 在正常情况下是不可能发生的, 舍去, 重新采样。

当 $D^j < D < D^f$, 数据值可能含有干扰成分, 计算处理, 令 $K = \frac{N}{2}$, 对于气泡引起的干扰, 没有连续性, 不能影响测量结果; 对于正常变化的数据, 具有连续性, 对均值产生影响, 使后来数据落入 $[\bar{D}, D_j]$ 范围内, 成为正常数据。

当 $D > D^f$, 为气泡干扰, 令 $K=0$, $D^i = \bar{D}$, 用均值代替。

处理后的数据 D^i 经过累加后求其均值。

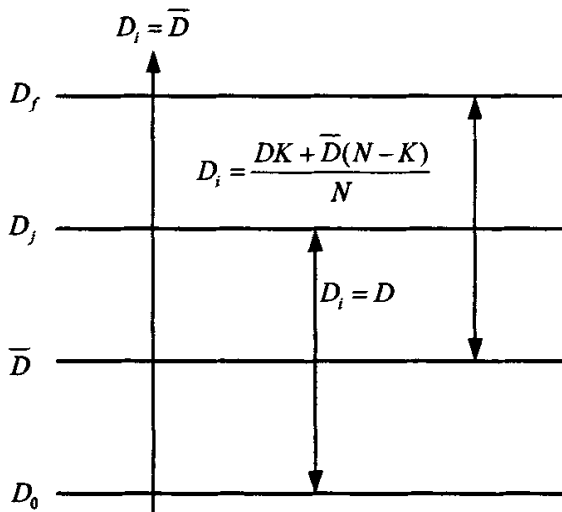


图 6-9 数据 D 与 D^0 , D^j , D^f 比较生成 D^i

Fig6-9 D^i through compare data D with D^0 , D^j and D^f

D: 新采样的数据

\bar{D} : FIFO 队列中元素均值

N: 2^3

K: $\in [0, N]$

D^0 : 0 浊度水的采样数据值

$$D^j: \frac{4\bar{D}}{3}$$

$$D^f: 2\bar{D}$$

程序框图如图 6-10^[28]所示:

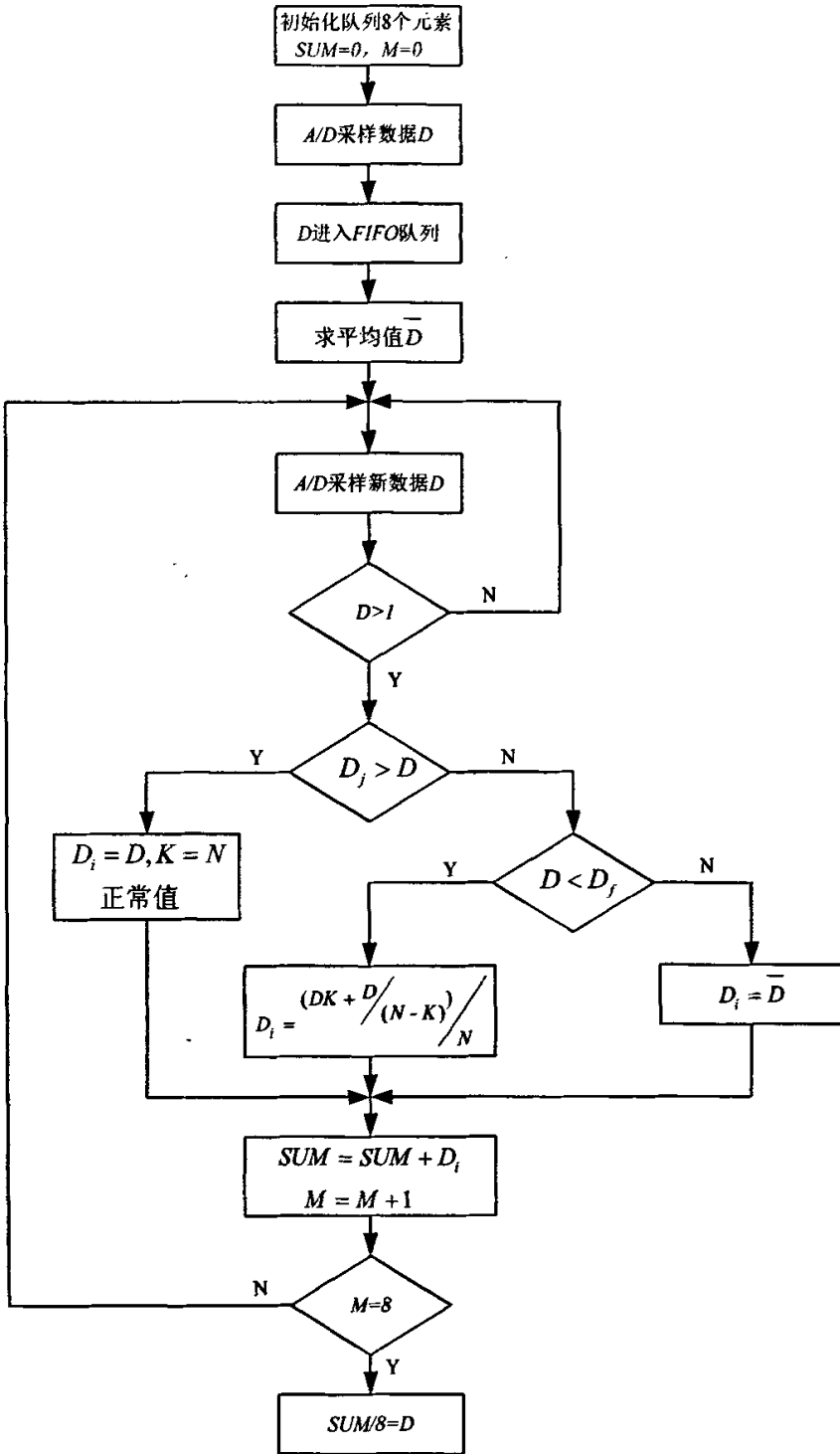


图 6-10 程序框图

Fig6-10 Program diagram

6.5.4 数字滤波除泡程序

程序如下：

```
#include <iom16v.h>           //ATmega16 头文件
#include <macros.h>
#include <STDIO.h>
#define uchar unsigned char
#define uint unsigned int
uint adddata[8];
uint adddata1;
uint dd;
void delay_us(int time)      //微秒延时
{
    do time--;
    while(time>1);
}
void delay_ms(uint time)     //毫秒延时
{
    while(time!=0);
    {
        delay_us(1000);
        time--;
    }
}
void adc_convert()           //A/D 转换结果
{
    uint temp1,temp2;
    temp1=(uint)ADCL;        //A/D 转换低位值
    temp2=(uint)ADCH;        //A/D 转换高位值
    temp2=(temp2<<8)+temp1; //A/D 转换组合值
```

```

addata1=temp2;
}
zaad()                // A/D 转换过程
{
    uint data;
    ADCSR=0;          //寄存器清零
    ADMUX=0x20;      //选择第一通道
    ADCSR=0x86;      //完成单次转换模式，64 分频
    ADCSR|=BIT(ADSC);
    ADCSR|=BIT(ADSC);
    delay_us(600);
    data=(uint)ADCH;
    return(data);
}
jisuan(uint data2)
{
    uint dj,df,dd1;
    uint d1;
    uint i=0;
    dj=(uint)(dd*1.333);
    df=2*dd;
    if(data2<1)
    {
        ad1:data2=zaad();
        if(data2<1)
            goto ad1;
    }
    else
    {
        if(data2<dj)

```



```
    {
        d1=data2;
    }
else
    {
        if(data2<df)
        {
            d1=(data2+dd)/2;
        }
        else
            d1=dd;
    }
}
return(d1);
}
void main(void)           //主程序
{
    uint s=4,i=0,jj=0;
    uint d2,j;
    uint data1=0,data3=0;
    uint a0=0,a1=0,a2=0,a3=0,a4=0,a5=0,a6=0,a7=0;
    while(1)
    {
        DDRA=0;
        PORTA=0;
        DDRB=0x0ff;
        PORTB=0x0ff;
        while(i!=8)
        {
            ADCSR=0;
```

```
ADMUX=0x20;
ADCSR=0x86;
ADCSR|=BIT(ADSC);
ADCSR|=BIT(ADSC);
delay_us(600);
addata[i]=(uint)ADCH;
a0=addata[0];
    a1=addata[1];
        a2=addata[2];
            a3=addata[3];
                a4=addata[4];
                    a5=addata[5];
                        a6=addata[6];
                            a7=addata[7];
i++;
delay_us(6);
}
dd=(addata[0]+addata[1]+addata[2]+addata[3]+addata[4]+addata[5]+addata[6]+addata[7])/8;
d2=0;           //均值
a0=a1=a2=a3=a4=a5=a6=a7=0;
while(jj!=8)
{
    data1=zaad();           //D9 值
    data3=jisuan(data1); //比较后的值
    d2=d2+data3;
    jj++;
}
d2=d2/8;           //均值
d3=(d2+7.2308)/0.2154;
```

```

    }           //显示
}
    
```

无气泡测试数据如表 6-1 所示:

表 6-1 无气泡测量数据
Table6- 1Output data without blisters

浊度值	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	dd 均值
	A/D 值								
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1
40	1	1	1	1	1	1	1	1	1
50	3	3	2	3	3	2	3	3	2
60	5	5	5	5	5	5	5	5	5
70	8	8	8	8	8	8	8	8	8
80	12	12	12	12	12	12	12	12	12
90	11	11	11	11	11	11	11	11	11
100	14	14	15	14	15	14	14	14	14
110	10	9	9	10	10	10	10	10	9
120	19	19	19	19	19	19	19	19	19
130	20	21	20	20	20	20	21	20	20
140	24	25	25	25	25	25	25	25	24
150	26	26	26	25	26	26	25	26	25
400	50	50	49	49	49	49	49	49	50
4000	206	207	206	206	206	206	206	206	206

有气泡测量如表 6-2 所示:

表 6-2 有气泡测量数据
Table6- 2Output data with blisters

浊度值	d9	d10	d11	d12	d13	d14	d15	d16	d2 均值
	A/D 值								
0									
10	1	1	1	1	6	1	1	2	1
20	1	1	1	1	142	12	1	1	1
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1
40	12	1	14	255	4	1	1	1	1
50	3	2	2	2	2	23	66	90	2
60	5	5	5	6	7	12	6	5	6
70	8	7	7	7	7	11	7	14	7
80	12	12	11	12	12	12	32	32	11
90	11	1	16	14	87	14	28	11	11
100	15	14	14	23	14	22	20	20	15
110	9	9	19	31	40	50	60	69	9
120	20	19	19	20	20	23	255	255	19
130	20	40	28	21	79	24	21	21	21
140	25	25	24	25	25	94	255	25	24
150	26	26	26	52	77	102	128	155	26
400	49	49	74	74	80	113	74	76	57
4000	209	208	209	212	210	209	209	210	209

6.6 有机物干扰

水样中的有机物也会对短波长范围的可见光产生吸收，以下是干扰试验结果。各种干扰因素为：

(1)腐殖酸，为自然水体中常含有的腐殖酸，浓度为 10mg/L。

(2)磷酸、苯等均为日常生活污水中常含有的污染物。

有机物测量如表 6-3 所示:

表 6-3 有机物测量数据

Table 6-3 Output data with organic substances

NTU	标准值	甲基橙(黄)	磷酸(红)	苯(无色)	腐殖酸(10mg/L)
	A/D 值				
20	1	1	1	1	1
40	1	1	1	2	1
60	5	5	6	6	5
80	10	9	10	10	9
100	14	15	16	16	15
120	19	19	20	20	21
140	25	24	25	24	25
160	29	29	30	30	31
400	77	77	78	79	77
1000	227	219	216	220	225
4000	229	230	231	224	233

对确定的水样进行浊度测量,通过实验数据证明本浊度仪对各种有机物干扰因素有着很强的适应性。满足用于检测天然水,日常生活污水处理的终值测定。

6.7 颜色处理

6.7.1 溶液显色原理

各种溶液会显示各种不同的颜色,是由于他们对光的吸收具有选择性^{[29] [30]}。具有同一波长的光线,称为单色光,包含有多种波长组合而成的光线成为混合色光。白光实际上是波长在 400~750nm 的电磁波,既由紫,蓝,青,绿,黄,橙,红等光按一定比例混合而成。例如黄色光与蓝色光可以混合为白光。此两种光色称为互补色。

当一束白光通过溶液时,如果溶液不吸收该波长范围内的任何光线,则溶液呈现透明无色。如果溶液选择吸收了白光一定波段的光,则透射光中除白光外,还有白光中未

被吸收的那一部分光，即被吸收的那个波段光的补色光，就是溶液所呈现的颜色。例如黄绿色光与红紫色光互补， MnO_4^- 具有选择吸收黄绿色光的特性，因此高锰酸钾溶液呈现紫红色，浓度越大，吸收黄绿色越多，即透射光中紫红色光部分互补掉得越少，呈现的紫红颜色也就越深。

如果溶液对多种波段的光都有些吸收，则溶液的颜色也将呈现相应与几种被吸收光的补色光的混合色。

如果溶液对白光中各种波长的光，都相当均匀地吸收，则溶液将呈暗灰色。

物质之所以能选择性地吸收光波，是由其原子，离子和分子的电子结构决定的。

元素的简单离子生成络合离子后常能吸收更多的光能，而是溶液呈现更深的颜色。

6.7.2 物质的颜色

波长在 $760\text{nm} \sim 1000000\text{nm}$ 的电磁辐射称为红外光(Infrared ray)，该区域称为红外光谱区或红外区。红外光又可划分为近红外区 ($760\text{nm} \sim 2500\text{nm}$)、中红外区 ($2500\text{m} \sim 5000\text{m}$)、远红外区 ($50\mu\text{m} \sim 1000\mu\text{m}$)。红外光电管的波长是 890nm ，属于近红外光。可见光的光谱如表 6-4 所示：

表 6-4 可见光的光谱

Table 6-4 Visible light spectrum

可见光的光谱颜色	波长	频率
红色	约 $625 \sim 740$ 纳米	约 $480 \sim 405$ 兆赫
橙色	约 $590 \sim 625$ 纳米	约 $510 \sim 480$ 兆赫
黄色	约 $565 \sim 570$ 纳米	约 $530 \sim 510$ 兆赫
绿色	约 $500 \sim 565$ 纳米	约 $600 \sim 530$ 兆赫
青色	约 $485 \sim 500$ 纳米	约 $620 \sim 600$ 兆赫
蓝色	约 $440 \sim 485$ 纳米	约 $680 \sim 620$ 兆赫
紫色	约 $380 \sim 440$ 纳米	约 $790 \sim 680$ 兆赫

其中：一个弥散反射所有波长的光的表面是白色的，而一个吸收所有波长的光的表面是黑色的。

物质的颜色是由其主要吸收色光的互补色光决定的，物质对光的选择性吸收。

物质的溶液呈现出各种不同的颜色，一般来说，有色物质含量越高，其溶液的颜色

就越深。也就是说，通过比较有色溶液颜色的深浅，即可测定有色物质的含量。有色物质溶液之所以呈现出各种不同的颜色，是因为有色物质选择性地吸收了不同波长的光。

6.7.3 分光光度法

分光光度计的吸收定律^[31]

(1) 朗伯—比尔定律

一束平行单色光通过任何均匀、非散射的固体、液体或气体介质时，一部分被吸收，一部分透过介质，一部分被器皿的表面反射。设入射光强度为 I_0 ，吸收光强度为 I_a ，透过光强度为 I_t ，反射光强度为 I_r 。则

$$I_0 = I_a + I_t + I_r \quad (6-2)$$

在吸光光度法中，通常将试液和空白溶液分别置于同样材质及同样厚度的吸收皿中，因此反射光的强度基本相同，其影响可以相互抵消，故可以忽略反射光的影响，可得到下式：

$$I_0 = I_a + I_t \quad (6-3)$$

即光强为 I_0 的入射光通过试液皿后，一部分光被吸收，一部分光被透射。

I_t 与 I_0 之比称为透光率或透光度 T ，

$$T = I_t / I_0 \quad (6-4)$$

吸光物质对光的吸收程度，还常用吸光度 A 表示：

$$A = -\lg T = \lg(I_0 / I_t) \quad (6-5)$$

实验证明，当一束平行单色光垂直照射某一均匀的非散射吸光物质溶液时，溶液的吸光度 A 与溶液浓度 c 和液层厚度 b 的乘积成正比，此即朗伯—比尔（Lambert—Beer）定律，其数学表达式为：

$$A = -\lg T = \lg(I_0 / I_t) = Kbc \quad (6-6)$$

(2) 摩尔吸收系数和桑德尔灵敏度

当溶液浓度以 mol/L 为单位时，液层厚度以 cm 为单位时， K 常用 ϵ 代替， ϵ 称为摩尔吸收系数，其单位为 L/mol·cm。此时朗伯-比尔定律可写为：

$$A=abc \quad (6-7)$$

摩尔吸收系数 ϵ 是吸光物质在给定波长和溶剂下的特征常数，数值上等于 1mol/L 吸光物质溶液和液层厚度为 1cm 时溶液的吸光度，它表示吸光物质对指定频率的光子的吸收本领。 ϵ 越大，表示该物质对某波长光的吸收能力越强，该测定方法的灵敏度也就越高。一般认为 $\epsilon < 10^4$ ，则方法的灵敏度较低； ϵ 在 $10^4 \sim 10^5$ 时，方法的灵敏度为中等； $\epsilon > 10^5$ 灵敏度高。

还可用桑德尔灵敏度（灵敏度指数） S 表示方法的灵敏度，Sandell 对 S 的定义是：在一定的波长下，测得的吸光度 $A=0.001$ 时， 1cm^2 截面积内所含的吸光物质的量，其单位为 mg/cm^2 。

S 与 ϵ 的关系的推导：

$$A=0.001=abc$$

$$bc=0.001/\epsilon$$

b 为吸收池的厚度，单位为 cm ， c 的单位为 mol/L ， bc 乘以待测物的摩尔质量 $M(\text{g}/\text{mol})$ ，就是单位截面积内待测物的质量，即

$$S=b(\text{cm}) \times c(\text{mol}/\text{cm}^3) \times M(\text{g}/\text{mol}) \times 10^6 \text{mg}/\text{g} = (\text{mg}/\text{cm}^2)$$

6.7.4 颜料、染料、指示剂的定量分析和定性分析

有颜色的物质为：永固紫浆（紫色）、直接耐晒兰 BRL C.I. DIRECT BLUE201（蓝色）、BASF 兰颜料 6879（蓝色）、直接兰 199#（蓝色）、BASF 颜料 7647（红色）、直接黑 EX（黑色）、 CuCl_2 （蓝色）、甲基橙（黄色）、磷酸（红色）。

染料：直接耐晒兰 BRL C.I. DIRECT BLUE201（蓝色），直接兰 199#，直接黑 EX（黑色）。

颜料：永固紫浆（紫色），BASF 颜料 6879（蓝色），BASF 颜料 7647（红色），15:3 酞兰（浅蓝）。

指示剂：甲基橙，PH 范围：3.1~4.4。颜色变化：红~橙黄

颜料是不溶于水、油或有机溶剂的色料。具有固液两相性，油性。是油墨中的着色剂，是表现油墨颜色的主要原料。一般不溶于水，也不溶于连结料，在溶剂中大部分呈悬浮状态。增加了溶液的浊度值，所以浊度值增大。

染料是能溶于水、油或有机溶剂的色料。染料是水性的。染料在连结料中是可溶的真溶液，能使物体全部着色。

染料对浊度测量的影响如表 6-5 所示：

表 6-5 加入染料的浊度测量值

Table6- 5Turbidity measurement including dye

NTU	标准值	直接耐晒 兰（蓝）	甲基橙 （黄）	直接黑 EX （黑）	直接兰 （蓝）	CuCl ₂ （蓝）
A/D 值						
50	3	3	2	3	3	3
100	14	14	14	15	14	14
150	23	23	23	23	23	22
200	35	34	35	34	35	38

颜料对浊度测量的影响如表 6-6 所示：

表 6-6 加入颜料的浊度测量值

Table6-6Turbidity measurement including pigment

NTU	标准值	永固紫浆 （蓝紫）	15: 3 酞兰 （浅蓝）	BASF 颜料 7647 （红）	BASF 兰颜料 6879(蓝)
A/D 值					
50	3	17	10	21	64
100	14	21	22	48	38
150	23	29			
200	35				

(1)定量分析

对同一物质而言，浓度不同，对特定波长光的吸收强度不同，因此，吸收强度可提供定量分析的信息。

用 7230 分光光度计测量各种染料、指示剂在一定浓度液中的吸光度。

染料、指示剂在吸光度测量中影响的定量分析。测量原始数据如表 6-7 所示：

表 6-7 染料、指示剂的吸光度

Table6- 7Absorbance with dye and indicator

参比液为蒸馏水

波长	直接耐晒兰	直接兰	直接黑 EX	甲基橙
350		0		43.1
400		2.1		2.8
450		53.1		0.2
500		43.9		1.6
550		0.1		
600		0		
650				
700	0			
750	0.6		0	
800	2.9		2.7	
850	5.3		17.9	
900	7.7		22.5	
950	10.4		26	

数据分析结果如图 6-11 所示:

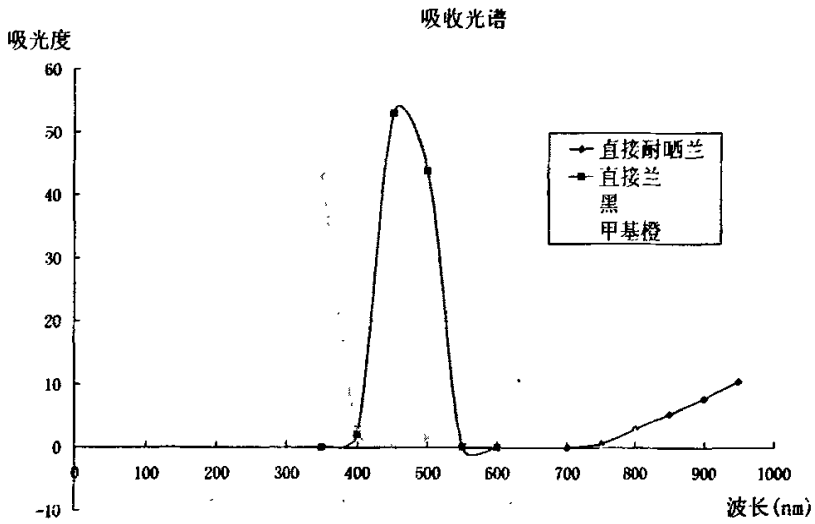


图 6-11 定量分析的光谱相应特性

Fig6-11 Spectral response of quantitative analysis

2. 定性分析

吸收光谱取决于分子的结构, 以及分子轨道上电子的性质, 不同的物质具有不同的吸收光谱, 因此, 吸收光谱可提供定性分析的信息。

用 7230 分光光度计测量各种染料, 指示剂在 100NTU 浊度液中的吸光度。

测量原始数据如表 6-8 所示:

表 6-8 染料、指示剂的吸光度

Table6-8 Absorbance with dye and indicator

参比液为蒸馏水

波长(nm)	直接耐晒兰	直接兰	直接黑 EX	甲基橙	100NTU 标准液
350	3.8	2.8	3.6	1.5	5.1
400	7	7.4	5.8	0.2	8.6
450	10.2	12.5	7.6	0	13
500	11.6	17.6	10.2	0	18.4
550	8.8	20.3	13	13.6	23.5
600	11	14.3	28.3	16.1	28.8
650	21	22.2	21	34.8	33.6
700	32.5	32.8	29.6	39.9	38.4
750	40	41.6	37.6	43.8	42.9
800	44.6	46.8	43.4	47.6	47
850	48.6	50.6	47.7	52.1	50.3
900	52.4	54.7	51.1	55.2	53.4
950	55.8	57.9	53.9	57.9	57

数据分析结果如图 6-12 所示:

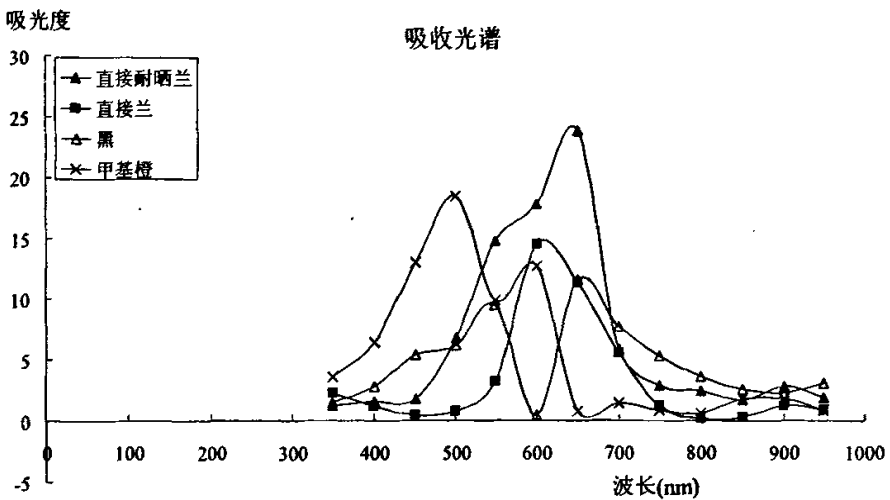


图 6-12 定性分析的光谱相应特性

Fig6-12 Spectral response of qualitative analysis

6.8 本章小结

第一, 二节简单介绍了 AVR 单片机的 ICCAVR 编译器和 AVR 的集成开发环境 (IDE)。描述了 AVR Assembler 编译器, AVR Studio 调试功能, AVR Prog 串行下载和 JTGA 下载功能, JTGA ICE 仿真功能等。

第三节对 A/D 转换的寄存器进行所需要的设置。

第四节对 USART 异步串行通信口进行设置, 编写异步串行通信程序, 对通信的上位机 PC 机的显示画面进行了简单描述。

第五节对气泡的处理进行考虑, 先描述了气泡的产生机理。对于实验室使用的浊度仪, 测试液体放在试管里, 不可能产生大的气泡。对于在线式的浊度仪, 重新设计了在线式的水样池。并做出了在线式水样池的零件图。软件滤波, 通过一定的计算程序对采样信号进行平滑处理, 提高有用信号强度, 消除或减少气泡的干扰, 设计了出去气泡的算法, 编写了数字滤波的除气泡程序。

第六节介绍了有机物的干扰。主要是腐殖酸和苯。

第七节介绍了颜色的干扰, 先讨论了溶液的显色原理, 物质的颜色。通过实验测量证明颜料、染料、指示剂的颜色对浊度仪的干扰, 并进行了分析。

最后详细介绍了分光光度法的原理, 用分光光度计对颜料、染料、指示剂进行定量分析和定性分析, 说明各种颜色干扰的机理。

本章先说明了浊度仪的软件设计, 所使用的 AVR 编译器和集成开发环境。对各种干扰进行了实验测量, 并进一步对各种干扰进行说明, 论证。对分光光度法进行了深入的研究, 因为分光光度计在很多情况下, 可以代替浊度仪进行浊度测量, 所使用的原理实际上就是透射光测定法。不同的只是单位不同, 对浊度的测量是一样的。

第七章 结论及展望

7.1 全文总结

本文是根据国际标准 ISO7027《水质—浊度的测定》中规定的散射光发来测量浊度的，比较以往的测量方法，有以下几方面优点：

(1)光源采用高强度长寿命近红外 LED 发光二极管，寿命长，发射光强度稳定，波峰值 $>800\text{nm}$ ，即使样品浓度很低，也能保证有足够的散射光强度，并且减少色度的干扰，可以测量各种颜色的样品的浓度。

(2)采用散射光测量法比其他方法具有更好的线性，特别是在低浊度范围内，测量效果好。

(3)能有效的去除气泡的干扰，水样池设计合理，数字滤波除泡程序测试证明有效可靠。

(4)水样池按照国际标准 ISO7027《水质—浊度的测定》确定尺寸，加工精确，不漏光。试管玻璃无色透明，材质均匀，减小入射光和出射光在水样池壁上折射产生的杂散光。水样池整体使用 DYY 氧化，呈黑色，在测量过程中，为整体密封，不受自然光的影响。

在本项目完成的大量基础试验上，论文简要总结归纳了散射式浊度仪的干扰因素。同时，提出了采用嵌入式微处理器和滤波算法，提高散射式浊度仪整机性能的思路及方法，并且在理论上为对各种干扰进行了些必要的证明。

7.2 工作展望

实验证明，本文的设计方案相对于传统的设计方案而言，有着很强的抗干扰性能。但是，散射式浊度仪的设计是一个多学科的课题，涉及到材料学、机械学、分析化学、信号处理学等等。由于时间有限本课题还有一些工作要做：

(1)需要进一步细化测量的浊度范围。

(2)需要在一定的测量范围内，达到一定的精度。如测量范围处于 0 到 40NTU 时，

精度为读数的 $\pm 2\%+0.01\text{NTU}$ 。

(3)在线式水样池的设计，需要考虑除污垢的方法。

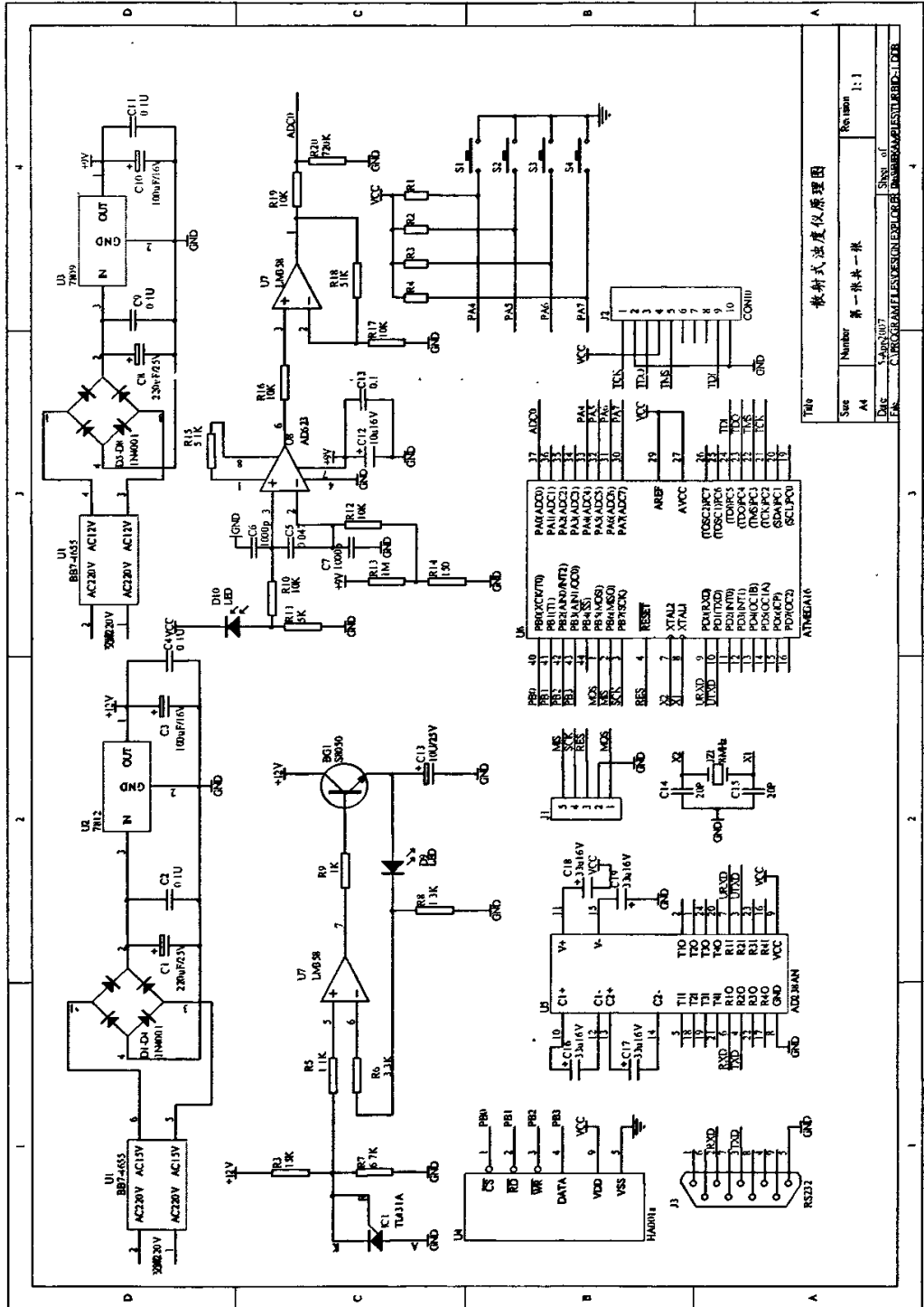
(4)进一步设计多个光电接受器件的运用。考虑前向，后向散射的问题。

参考文献

- [1] 任淑香, 浊度标准及其测量探讨, 科苑论谈, 1998, 11 (3), 148
- [2] 彭文任, 测定有色溶液浊度的新原理及其应用(一), 福建仙游糖厂, 1978, 3, 33~38
- [3] 生活饮用水卫生标准 GB5749-1985,1985
- [4] 生活饮用水标准检验法 GB5750-1985,1985
- [5] 伍培, 水浊度的现代定义表达和测定, 重庆石油高等专科学校学报, 1995, 11, 51~53
- [6] 查人光, 徐兵, 低浊度控制与饮用水安全浅议, 给水排水, 2005, 31(1), 11~14
- [7] 水质—浊度的测定 ISO 7027-1984(UQC543.31),1984
- [8] 贡献.浊度单位和量程范围选择, 化工自动化及仪表, 1997,24(6),46~49
- [9] 鄂学礼, 张岚, 评述: 浊度的测定, 中国卫生检验杂志, 2000,10(2),244~246
- [10]王杰, 姚建铨, 于意仲等, 瑞利散射用于气体流场二维瞬态密度测量, 光电子激光, 2001,12(1),62~64
- [11]孔斌, 卢胜利, 散射式智能液体浊度仪的研制, 宁夏大学学报(自然科学版), 1999,20(4),332~334
- [12]李亦军, 基于 Mie 散射的微粒浓度和粒度测试的理论实验研究[学位论文], 太原, 中北大学, 2005
- [13]宋启敏, 陆明刚, 散射光式浊度测量的范围和非线性研究, 上海大学学报(自然科学版),1997,3(5): 564~569
- [14]赵彦, 杨清平, 孙宏, 散射光法测定水中浊度的研究, 干旱环境监测, 1991,5(2),86~89
- [15]吴星五, 唐秀华, 朱爱莲, 散射式浊度仪的改进和应用, 工业用水与废水, 2001,32(4),8~10
- [16]宋吉江, 牛轶霞, 光敏电阻的特性及应用, 微电子技术, 2000,28(1),55~57
- [17]雷玉堂等编著, 光电检测技术, 北京: 中国计量出版社, 1997
- [18]梁清华, 李亮之, 刘春玲, 硅光电池温度补偿方法的研究, 仪表技术, 2002,(4),24~25
- [19]付文羽, 硅光电二极管的线性度及信噪比分析, 半导体光电, 2003,4(4),267~279
- [20]潘永惠, 徐标, 朱小松, 光电二极管暗电流温度特性的测量, 南京师大学报(自然科学版), 1999,22(2),40~43

- [21]康华光,陈大钦,电子技术基础(模拟部分)第四版,北京,高等教育出版社,2000
- [22]张君,赵杰,仪表放大器 AD623 的性能与应用,仪表技术,2002,(5),45~46
- [23]刘高明,单电源仪表放大器 AD623 及其应用,电测与仪表,1999,36(397),44~46
- [24]耿德根,宋建国,马潮,AVR 高速嵌入式单片机原理与应用(修订版),北京:北京航空航天大学出版社,2003
- [25]沈文,詹卫前,AVR 单片机 C 语言开发入门指导,北京:清华大学出版社,2003
- [26]丁化成,耿德根,李君凯,AVR 单片机应用设计,北京:北京航空航天大学出版社,2002
- [27]江圣辉,1720 浊度仪电路分析与维修,现代仪器,2004(1): 54~56
- [28]林晓东,浊度仪计算机系统数字滤波算法,福建农林大学学报(自然科学版),2004,33(1): 133~136
- [29]李亨,颜色技术原理及应用,北京:北京科学出版社,1994
- [30]汤顺青,色度学,北京:北京理工大学出版社,1990
- [31]胡亮,杨大锦,Excel 和化学工业试验数据处理,北京:化学工业出版社,2004
- [32]Hach Company,Turbidimeter Instruction Manual[M],1988
- [33]ISO7027,Water Quality-Determination of Turbidity[S],International Organization for Standardization(ISO),1990

附录



致 谢

作者在研究生学习期间，深受导师何小刚老师的关怀和指导，作者不仅从他身上学到了许多科学研究的方法，而且还切身感受到了一个科技工作者应具有奉献和拼搏精神，尤其是导师正直的做人品格，严谨的工作态度令作者深感钦佩。本文完成后，感谢老师仔细审阅了全稿。

也要特别感谢太原理工天成科技股份有限公司，我一直很庆幸我有机会来到这里学习和研究。在太工天成的两年时间里，天成的老师和工程师给予了很多帮助。在此，向他们表示衷心的感谢。同时，还要感谢盛强同学，在学习与科研中，他提供了宝贵的指导意见和及时的协助，使我们能共同完成本课题。本论文的完成，凝聚着每一位同仁的汗水。

王东

于太原理工大学

2007年3月

攻读硕士学位期间发表的论文

- [1] 王东, 何小刚. 视频处理电路设计, 2007, 3, 电脑开发与应用