

硕士学位论文

室内空气质量监测仪

Development of the indoor air quality monitor

闫海霞

哈尔滨工业大学

2014 年 7 月

国内图书分类号：TH89

学校代码：10213

国际图书分类号：621.3

密级：公开

工程硕士学位论文

室内空气质量监测仪

硕 士 研 究 生：闫海霞

导 师：戴景民 教授

申 请 学 位：工程硕士

学 科：仪器仪表工程

所 在 单 位：自动化测试与控制系

答 辩 日 期：2014 年 6 月

授予学位单位：哈尔滨工业大学

Classified Index:TH89

U.D.C.: 621.3

Dissertation for the Master Degree in Engineering

DEVELOPMENT OF THE INDOOR AIR QUALITY MONITOR

Candidate:	Yanhaixia
Supervisor:	Prof. Daijingmin
Academic Degree Applied for:	Master of Engineering
Speciality:	Instrument Science and Technology
Affiliation:	Dept. of Automatic Test and Control
Date of Defence:	June,2014
Degree-Conferring-Institution:	Harbin Institute of Technology

摘 要

室内气体的浓度对于居住的环境而言是一个非常重要的参数。如果可以及时准确的得到气体浓度的数据，并且在环境中的有害气体浓度超过了室内气体标准的时候，自动的进行声光报警，便可以实时的拥有一个良好的生活环境。

现如今人们生活水平的不断提高，80%左右的时间都是在室内度过的，所以室内的空气质量与人们的工作和健康都是息息相关的，人们对于生活的环境尤其是居住环境的要求也越来越高。而近年来，装修装饰材料等内部所含的有害物质没有被有效控制，导致室内装修后造成的环境污染成为了健康隐患。因此对室内的空气质量的监测也变得格外重要。

为了能够改善室内的环境，提高日常的工作效率，并且保护身体健康，依据 GB/T18883-2002 室内空气质量标准，以 STC12C5A60S2 为核心，本文研制了一款成本低、功耗低、面向普通居民、能够实时监测多种室内气体，并结合液晶显示等交互功能，可超标报警功能的室内气体监测仪。监测仪采用模块化的编程思想，使得整体性能得到提高。

监测仪的创新之处有，采用电化学型气体传感器，结合 STC 系列单片机控制系统，响应速度快，数据处理准确。可以同时监测多种有害气体，并根据室内环境需求进行气体的监测和设置报警值。很大程度上解决了市面上的环境监测装置参数单一，实时性和测量准确度不能保证的问题。经过大量的实验表明，监测仪的甲醛，甲烷，一氧化碳，氨气，和可吸入颗粒以及温湿度的最大示值误差和重复性都在检定规程的允许范围内。

关键词：室内空气；实时监测；STC12C5A60S2

Abstract

The concentration of indoor gas is a very important parameter for living environments. If we can get gas concentration data timely and accurately and when the concentration of harmful gases in the environment exceeds the standard of indoor gas, an acousto-optic will start automatically, all of these will provide a comfortable living environment in real-time.

Nowadays, people's living standards have increasingly enhanced, most people spent 80% of life time indoors, so air quality indoor is closely related to people's work and health. Requirements for environment especially for living environment are getting higher and higher. In recent years, harmful substances in the internal of the decoration materials have not been effectively controlled, resulting in environmental pollution caused by indoor decoration pollution has become a health hazard. Therefore, indoor air quality monitoring has become particularly important.

In order to improve the indoor environment and the efficiency of daily work and protect the body health. According to GB/T18883-2002 standard of indoor air quality, we take STC12C5A60S2 as the core. In this paper, we developed an indoor gas detector with ovenproof alarm function, which is low cost, low power consumption, suitable for the ordinary people, able to monitor many kinds of indoor airgas in real time and combines with interactive functions. Monitor uses modular programming ideas, making the overall performance improve.

The innovation of the monitor: using electrochemical gas sensor, combining with STC series single-chip microcomputer control system, fast response speed and accurate data processing. You can simultaneously monitor a variety of harmful gases and monitoring gas and setting alarm values according to the requirements of the indoor environment. The monitor largely solved the problems that parameters of monitoring devices available in the market is single and cannot guarantee real-time and measurement accuracy. Lots of experiments show maximum indication error and repeatability of formaldehyde, methane, carbon monoxide, ammonia, inhalable particles, temperature and humidity are within the allowable range.

Key words : Indoor air, real-time monitoring, STC12C5A60S2

目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	II
目 录.....	III
第 1 章 绪论.....	1
1.1 课题研究背景及意义	1
1.1.1 课题的背景	1
1.1.2 课题研究的实际意义	2
1.2 室内空气质量监测仪的国内外研究现状	2
1.3 本文主要研究内容和目标.....	4
1.3.1 本课题的目标	4
1.3.2 本文的主要内容	4
第 2 章 气体浓度检测技术基础	6
2.1 气体传感器简介	6
2.1.1 气体传感器概述	6
2.1.2 气体传感器的分类	8
2.1.3 气体传感器选择标准	10
2.2 电化学气体传感器介绍	10
2.2.1 电化学气体传感器的概述.....	10
2.2.2 电化学气体传感器的分类.....	10
2.3 本章小结	11
第 3 章 室内空气质量监测仪的硬件设计.....	12
3.1 室内气体监测仪总体设计方案.....	12
3.1.1 系统完成的技术指标	12
3.1.2 系统的总体设计方案	12

3.2 电化学气体传感器的选型.....	14
3.2.1 甲醛传感器选型	14
3.2.2 CO传感器选型	18
3.2.3 NH ₃ 传感器选型	20
3.2.4 甲烷传感器选型	21
3.2.5 PM _{2.5} 传感器	24
3.3 气体传感器处理电路设计	27
3.3.1 氨气传感器的信号处理电路	28
3.3.2 甲烷传感器的信号处理电路	29
3.3.3 CO传感器的信号处理电路	29
3.3.4 甲醛传感器的信号处理电路	30
3.4 电路系统设计	31
3.4.1 单片机的选择	31
3.4.2 电源电路设计	32
3.4.3 液晶显示系统	32
3.4.4 模数转换电路	34
3.4.5 串口扩展电路	34
3.4.6 声光报警电路	35
3.5 硬件抗干扰技术	36
3.6 电路实物图	37
3.7 本章小结	37
第 4 章 室内气体质量监测仪的软件设计	38
4.1 编译环境概述与系统框图	38
4.1.1 编译环境概述	38
4.1.2 系统框图	38
4.2 系统主程序	39

4.3 数据采集与处理模块程序设计	40
4.3.1 AD 采集程序	41
4.3.2 数据处理子程序	41
4.3.3 温度传感器子程序	41
4.3.4 数据显示报警模块	42
4.3.5 软件抗干扰设计	43
4.4 本章小结	43
第 5 章 仪器标定及示值误差分析	44
5.1 实验结果	44
5.2 示值误差分析	47
5.3 本章小结	47
结 论	48
参考文献	49

第1章 绪论

1.1 课题研究背景及意义

1.1.1 课题的背景

室内环境是人们日常工作和休息的室内空间，是为了生产生活需要而建的室内微环境，包括办公室、居室、酒店、商场、图书馆、教室、候车厅等各种的公共环境以及内部空间等^[1]。而室内的声、光、热环境和室内气体品质等四个方面都对人的工作，生活，健康产生着直接影响^[2]。人的一生 80% 的时间实在室内度过的，现代的城市生活是我们在室内的时间不断延长，所以室内空气的质量对我们十分重要^[3]。

由于我国社会改革开放的不断推进和经济的快速发展，空气质量问题日益突出，人们的环保意识不断增进。而现代生活节奏的加快，人们在起居室、办公室等室内环境滞留的时间日益变长。室内环境作为人们活动的主要场所，良好的空气质量可以使人们身心健康，工作高效。据世界相关组织统计，中国 30% 的室内空气中存在有害气体，严重危害人们的身心健康，所造成的经济数目惊人^[4]。

最近几年里，人们的生活水平进一步提高，居民的购房热使得人们对于生存的环境包括居住环境的要求不断提高，伴随着室内的装修和家具的更新也很常见但是现在市场上的新型建筑材料和装修装饰材料的质量参差不齐，而一些装饰装修材料中的有害物也无法测量和控制。装修后造成的环境和空气的质量污染严重影响了人类健康安全，因此装修造成的环境问题也日益受到关注^[5]。

甲醛是一种室内常见的影响人类身体健康的气体，它无色，但是具有强烈的刺激性气味，具有较高的毒性，易溶于水、酒精和醚，因甲醛的毒性高，世界卫生组织把它确定为致癌和导致畸形的物质，不仅属于潜在强致突变物之一，还是被认可的变态反应源。当前，对于胶合板、涂料、壁纸、化纤地毯、油漆等室内装饰和家具的材料都含有甲醛或者能够水解为甲醛的化学物质，对人的伤害极大，并能够向周围的环境释放甲醛长达十年之久^[6]。

氨属于碱性物质能够对接触组织产生腐蚀和刺激作用，它无色但是有很

强烈的刺激性臭味，室内环境中的氨主要是来自于混凝土外加剂，室内装修材料，木质板材。氨能够吸收组织中的水分，是组织脂肪皂化，蛋白质变性，破坏细胞膜的结构，由于氨具有很高的溶解度，能够刺激和腐蚀动物或者人体的上呼吸道，使人体的抵抗力降低，当氨的浓度过高时，由于三叉神经末梢的反射作用，会腐蚀甚至会引起心脏和呼吸停止^[7]。溶解度极高的氨通常以气体形式吸入人体，少部分进入肺泡内的氨被二氧化碳中和，被吸收到血液中的少量氨会随着汗液、尿和呼吸排出到体外。由于皮肤粘膜和眼结膜容易吸附氨，所以也易产生刺激和炎症等^[8,9]。氨进入肺后，通过肺泡融入到血液中的时候，由于结合了血红蛋白，使得运氧能力遭到破坏。氨轻度中毒表现有鼻炎等。如果氨进入气管和支气管就会引起咳嗽和痰内有血等等。严重时呼吸困难和中水泡音等等^[10]。

1.1.2 课题研究的实际意义

由于装修而造成的室内污染已经演变为最严重的社会问题之一，它是一种比较敏感的环境污染。由于装修而产生的室内环境问题对人们健康造成的危害，使得实时监测室内气体的含量变得尤为重要。对于现代化的家居环境，利用计算机和微电子技术，研制出的智能化的仪器仪表来监测室内空气的气体浓度已经是大势所趋。通过研制的室内空气质量监测仪，高效的实时监测气体浓度，找到室内隐形杀手，使我们居住的环境更加安全放心，是我们的生活质量进一步提高^[11]。

本课题主要是研制一种能够实时监测室内空气质量针对装修等造成的环境污染问题而设计的监测仪，本仪器的主要功能有：

- (1) 采集室内的有害气体，实时监测并显示气体的浓度；
- (2) 分析居室内的气体浓度，针对有害气体超标的情况，能够立即进行报警。
- (3) 实时显示温湿度，使室内环境处于舒适度范围内。

1.2 室内空气质量监测仪的国内外研究现状

近年来，随着计算机技术、单片机技术、传感器技术等电子技术发展迅速，芯片和器件的集成度越来越高，一些监测仪的品质越来越好，仪器仪表

的功能越来越强。室内有害气体监测仪也在向着体积更小，实时性更好，精度更高的方向发展，多种类型的室内有害气体监测仪应运而生。由于低功耗和高集成度的集成芯片大量问世，使得监测仪的功能越来越强，但是功耗却在逐渐降低^[12]。从 20 世纪 80 年代开始，室内有害气体和各种对于污染源的监测技术以及便携式仪器也开始渐渐发展起来。而室内空气质量监测仪的发展大概经历了两个阶段：第一阶段为实验室分析仪器阶段，第二阶段为便携式现场检测仪器阶段。室内卫生组织制定了室内环境的限值和检测标准及方法，但是这些方法都是基于现场采样，在实验室进行分析数据。比较常见的方法有：比色法，色谱法，分光光度法。色谱法利用活性炭采集苯，用二氧化硫提取出来，然后用气相色谱仪分析。这些方法分辨率高而且准确可靠，适用于标定和仲裁。但是周期长，成本高，操作麻烦，都是它显而易见的缺点^[13]。近几十年，化学传感器和信息处理技术的快速迅猛发展，监测仪发生了很大变革，从实验室的分析变为了现场的检测和采样，并且实时分析数据。现场的检测仪器大致按照信号转换的原理可以分为三类：和辐射检测仪器、电化学传感器监测仪器和光学检测仪器三种。例如被日本工业部推荐在室内使用的甲醛分析仪就是应用的电化学传感器。这些仪器从传统的费时费力，检测复杂麻烦到现在的便携式可在现场实时监测。目前，监测室内空气质量的仪器主要应用的监测技术是电化学和光学原理，应用的相应装置是光学检测器和电化学传感器^[14]。

现在的产品主要有美国 ESC 公司 Z-XP 系列的泵吸式气体监测仪、Z/ZDL 系列的手持式气体监测仪，可测量甲醛、臭氧和氯化氢等参数^[15]。甲醛和臭氧的分辨率均可以到达 0.01ppm，其他气体的分辨率为 0.1ppm。掌上智能 NP-8A 型甲醛检测仪，型号为 7565 由美国 TSI 仪器公司研制的室内环境综合监测仪，可以监测二氧化碳、一氧化碳以及温湿度等参数，测量参数单一。近两年德国和加拿大研制出了大量的空气质量监测仪^[16,17]。

目前国内研制的林林总总的室内气体监测仪相比外国的产品还是有一定的差距的。北京的华云仪器研究所和长春的小天鹅研制的甲醛便携式检测仪等精度高，可靠性好，抗干扰小，但是基于滑雪试剂分析方法，操作十分复杂，需要专业的人员才可以操作。目前这类仪器的主要的发展方向包括三个方面：第一提高灵敏度和选择性。第二向更加智能化、网络化、专用化、和微型化的方向发展；第三能够进行现场的实时的分析检测^[18]。

对国内外现有的部分研究成果分析后，发现现在的国内的空气质量分析

仪，功能都相对比较单一，虽然价格不高，但是测量的可靠性也不好。过往的分析仪虽然价格昂贵但是准确度相对较高。估计把计算机技术应用于室内气体检测，并利用新型检测原理和方法，研制的新式监测仪将会成为日后的热点，使得仪器实现自动化和在线化，扩大监测仪的应用范围，具有深远的意义^[19]。

1.3 本文主要研究内容和目标

1.3.1 本课题的目标

本课题的目标是研制出能够实时的监测室内的甲醛、甲烷、氨气、一氧化碳、可吸入颗粒的浓度和温湿度的值，使得日常生活中的不可见的污染源不再隐形，克服了国内的只能单一测量某种气体或者需要专业人员进行操作的情况，能够对有害气体的超标进行报警，并根据相应的测量和分析结果进行滚动显示。

系统的硬件由甲烷传感器、甲醛传感器、氨气传感器、一氧化碳传感器、粉尘传感器、温湿度传感器、电源和各传感器的信号处理电路、STC12C5A60S2 单片机、LCD12864 液晶显示、声光报警电路和 USB 转 TTL 通讯电路等组成，软件采用的结构化设计，提高了仪器的精度，测量更方便。

本人的主要研究工作包括：

- (1) 传感器的信号处理电路；
- (2) 电源的低功耗设计；
- (3) 以 STC12C5A60S2 为控制核心的软硬件设计；
- (4) 传感器外壳的设计和传感器的标定；
- (5) 系统结构的整体设计；

1.3.2 本文的主要内容

本文依据室内空气质量标准设计了一款便携式的基于单片机控制系统的监测仪，它采用了新型的电化学式传感器，把传统的复杂的现场监测转换成了新型的可携带的产品。

本文的结构主要分五章来完成：

第一章在阅读了大量的国内外文献后，介绍了本课题研究背景 and 实际意义、室内空气质量监测仪的国内外研究现状以及本文的主要研究内容和目标。

第二章主要介绍了气体传感器的概述、分类和选择标准，电化学传感器的概述和分类。

第三章主要讲了室内气体监测仪的总体设计方案、技术要求以及器件的选取，对整个系统的硬件进行了设计，包括四种气体传感器的处理电路，系统各个模块的电路设计，硬件的抗干扰技术。

第四章主要介绍了系统的编译环境和整体的框图，系统的主程序，系统各个模块的程序以及软件的抗干扰设计。

第五章根据各传感器的检定规程，检定了监测仪的示值误差，并依据实验数据进行了分析。

第2章 气体浓度检测技术基础

2.1 气体传感器简介

2.1.1 气体传感器概述

一般安装在探测头内的气体传感器，是一种能够感知、监控、分析环境中的气体及其浓度的装置或者器件，并将气体浓度转化为相应的电信号，气体传感器是监测系统的关键^[20]。一般气体传感器的响应时间会因采样方式的不同而受到影响，为了有效的缩短测量的时间，所以在对气体样品进行测量的时候，就需要进行一些化学处理的手段，主要为滤除相应的干扰气体和杂质气体等等，同时把气体吸入检测器或以简单扩散的方式对气体进行采样^[21]。

样品吸入检测法给传感器提供了一种速度可控的稳定气流，采样位置靠近处理仪器或者排气通道的时候，气流大小和流速相对不稳定时，通常使用这种方法。气体样本进入到探头的距离根据传感器的设计。简单扩散的方式是利用气体天然向四处传播的性质^[22]。因为扩散过程缓慢，所以探头要靠近采样位置，传感器会产生和气体浓度正比的信号。采样气体通过探头内的传感器进行测量而无需其他的化学和物理变换，是扩散法的一大优点^[23]。

气体传感器的主要特性：

（1）稳定性

传感器性能在一段时间使用后保持不变的能力被称为稳定性，传感器的使用环境以及传感器本身结构会影响气体传感器长期稳定性。因此，具有较强对环境适应能力的传感器通常稳定性较佳。在使用期限到了以后须重新确认传感器的性能所产生变化的干扰。因为稳定性具有定量的指标，所以在使用前需要再次进行校准^[24]。因为本项目中的传感器都是用在室内的，根据使用的需求，我们选择的是电化学类型的。如果是在条件恶劣的室外，则需想办法削弱环境干扰。在某些场合要求传感器不能轻易换掉或标定而且需要长期使用，那么所选用的传感器要能经受较长时间的考验，所以对稳定性要求更严格。

（2）灵敏度

本课题选择的传感器灵敏度都很高，如 CO 传感器每 ppm 电流的变化在 0.03 微安左右。但与被测量无关联的外界噪声，在传感器的灵敏度高时，也容易混入，尤其是被放大系统放大后，会影响测量精度。因本课题选择的传感器都是高灵敏度的，所以输出信号大，这样换算后的气体浓度值就更加准确。因此，为了减少干扰信号从外界引入，要求传感器自身尽量具有较高的信噪比。灵敏度有时不是越高越好，如果测量多种气体的时候，会希望传感器的选择性尽可能的要小；本课题中所选用的电化学型气体传感器都是每款只测量一种气体，所以传感器的交叉灵敏度要小。

（3）选择性

选择性又叫作交叉灵敏度，会影响传感器的重复性和稳定性，在工业加工领域十分重要，当干扰气体到达某一浓度时，测量传感器的响应，便可以得到选择性即交叉灵敏度，因为干扰气体使传感器产生的响应和目标气体使传感器产生的响应是等价的。在挑选传感器时一定要考虑传感器的这个方面。

（4）抗腐蚀性

抗腐蚀性指传感器在高浓度的被测气体中的耐受能力。当有气体泄漏时，传感器能承受的气体浓度是预定的 20 倍到 30 倍，恢复正常后，传感器的漂移仍然很小且零点校正值也小。

（5）精度

精度关系到整个测量系统的测量精度，作为传感器的关键性能指标之一，在本课题中选择的传感器都为高性能的传感器，根据室内气体的标准，其指标完全符合要求，无需更高的精度的传感器，否则成本更高，性价比却降低。因此，在诸多传感器中，只要是满足同一测量目的，就可以选择比较简单和便宜的传感器。

（6）线性范围

选择线性范围更宽的传感器，可以更好的确保精度，由于线性范围宽，输入和输出成正比的范围更大，传感器的量程也更大。从理论上讲，灵敏度会在线性范围之内维持为定值。当确定了传感器的种类之后，选择传感器时，首先要看其是否满足量程要求^[25]。

（7）频率响应特性

在频率允许范围内，频率响应不失真，因为被测量的带宽决定了传感器的频率响应特性，虽然传感器的频响总是存在一定延后，但是希望延后时间尽可能的要短。频响描述了不同信号的处理能力。信号的可测频率范围随着传感器的频率响应的提高而加宽，而机械系统的惯性因为受到结构特性的影响一般较大，因有传感器的频率低时，可测信号的频率也较低^[26]。此外，从经济方面考虑，传感器还应具有下列前提：寿命长；易于标定和维护；成本低；无需复杂的电路去处理所形成的电子信号；外围设备简单。气体传感器最首要的特性与材料选取有很大关系，无论是选择性或是灵敏度等等^[27]。

2.1.2 气体传感器的分类

气体传感器的分类，根据气体检测技术的不同，大概能分为光学式红外探测型，半导体型，高分子气敏型，固体电解质型，接触燃烧型，电化学型等等。这些类型的气体传感器有着不同的特性和优势，根据测量的气体不同，来考虑到底选择那种传感器更加适合，也需重点考虑。化学传感器的一个分类是气体传感器，通常按照气敏特性可分为：电化学型、光化学型、半导体型和高分子气体传感器等。

简单介绍一下各类传感器：

（1）光学式气体传感器

光学式气体传感器检测气体的红外吸收峰来测量和分析气体，一般以红外吸收式为主，日前的最新分析仪主要有傅立叶变换型、流程直接测定型和流体切换型。这类传感器结合计算机能够实现自动校正和自动运行的功能，不仅可以对气体进行连续的测量分析，还有高抗震和抗污能力^[28]。

（2）固体电解质气体传感器

这类传感器电导率高、灵敏度和选择性好的诸多优点使得产量和应用都仅次于半导体型气体传感器。相当于一种非蓄电池，测量产生的电动势就可得到气体的浓度。用固体电解质气敏材料做气敏元件，随着气敏元件的优化，气体监测系统的智能化及泄漏事故中的报警功能将会进一步提升。

（3）半导体气体传感器

通常这类气体传感器在测量与半导体接触后导致的半导体的性质的变化，对应得到所测量气体的某些性质。利用材料特性，获得类似五官一样

的感觉性能。此气体传感器用的是金属氧化物做元件，而半导体性质使得传感器与气体相互作用时，载流子运动的表面的电位以及电导率会随之变化从而测得气体。半导体气体传感器是现在最广泛和实用的测气体的传感器，类型繁多，可定量监测，温度传感器和生物传感器等。如果按气敏特性分为电阻及非电阻两种。其中电阻式是一种阻抗元件，由金属氧化物薄膜制成，气体在这层薄膜的表面产生还原反应，使得电导率随之变化，而且电阻与气体浓度有着对应关系。

（4）高分子气敏材料气体传感器

这类传感器的最大特点是测量高分子气敏材料的阻值来得到气体浓度的对应值。这类传感器的优点是成本低、制作工艺简单。缺点是耗费时间而且各批次的产品之间性能有差异，因为这类传感器需要电聚合来激活。对于特定的材料的高选择性、高灵敏度和结构简单使其成为目前研究的热门领域之一，并且可以弥补别的气体传感器的劣势，因为在常温下就能够去使用。

（5）接触燃烧式气体传感器

这类传感器可以分为直接接触燃烧和催化接触燃烧式这两类。其技术原理是气敏材料发生氧化燃烧，气敏元件应用的桥式电路，当剧烈燃烧时，电路就会不平衡，产生电位差。电阻随温度而变化，把测量气体浓度转化为了可测量的电阻值，就可以得到气体浓度和性质。这类传感器也叫做热导性传感器，可以在家居室内和矿井等地方进行测量和报警，这类传感器在环境温度下，有着很好的稳定性，可以监测很多种处于爆炸下限的可燃性气体，因此在很多领域适用。

（6）电化学式气体传感器

在本课题中所选的传感器就是此类，具有高灵敏度和高选择性，目前应用范围广泛，适用于多种场合，其体积小，装在便携式的仪器内占用的体积有限，还是所有气体检测的传感器类型中功耗最低的。这类传感器可以分为电量式、原电池式、可控电位电解式和离子电极式四种。其中电量式是测量气体与电解质反应时产生的电流，还是利用把一种物理量转化为另一种方便测量的物理量的思想。原电池式气体传感器主要用于检测缺氧的仪器，检测电流的变化得到气体浓度。定电位式传感器通过对电解电流的测量来检测气体浓度，需要外部施加特定电压。离子电极式气体传感器通过对极化电流的测量而得到气体浓度^[29]。

2.1.3 气体传感器选择标准

要实施具体的测量工作时，即使是检测同一个物理量，也需要首先思考应用哪种技术基础的传感器。除了要考虑传感器的量程外，在确定传感器时，还需根据要测气体的种类，浓度范围，所处的条件等多方面来考虑到底要选择哪种传感器更合适，所以还要考虑以下方面：是接触式或是非接触式的测量方式；被测位置对于传感器体积的具体要求；传感器来自国产、自己研制的，或是进口；价格是否可以接受；信号要选择有线还是选择非接触测量的引出方法；在深思熟虑要选择哪类的传感器之后，再从更加细节的方面考虑传感器在一些指标上能否符合实验的要求^[30]。稳定性、选择性、灵敏度、抗腐蚀性这些性质都需要重点考虑，不符合要求就会造成测量的不准确，还要综合经济方面，包括低成本、寿命长、好标定和维护、生成的信号处理简单和外围设备简单等等。因为应用于室内监测，响应时间不可太长，最好不要超过一分钟，分辨率也要达标，为了便于携带，体积应该尽量小。

通过综合的比较，本课题选择的是郑州炜盛公司生产的电化学传感器。这类传感器价格低廉，可靠性高，原理简单，即使是工作的环境极其恶劣也能够正常工作，适合本系统使用。

2.2 电化学气体传感器介绍

2.2.1 电化学气体传感器的概述

这类应用了电解池原理的化学传感器，当空气中的某种化学气体发生了氧化还原反应后，会产生电信号，电信号和气体浓度的值具有线性的关系，通过测量电信号的大小，得知气体浓度的具体值。

2.2.2 电化学气体传感器的分类

电化学气体传感器按照工作原理可以分为以下几种类型^[31]：

燃料电池型气体传感器：传感器的原理和干电池十分相似，气体传感器的气体电极就类似于干电池的碳锰电极，在传感器的两极分别发生氧化和还原反应，产生的电子形成电流，从一极流向另一极，然后想要得到气体的浓

度，测量电流便可以。这类传感器还可以测量氯气和二氧化硫等；恒定电位电解池型气体传感器，是一种广泛使用的传感器。可以有效地检测还原性气体，是一种库伦分析的传感器，传感器的体积小，不会占用太大的空间，是空气质量监测仪的首选传感器。可检测一氧化碳、氢气、氨气、硫化氢等，是现在大家会普遍选择的一类传感器；极限电流型气体传感器：传感器利用电化池中的极限电流与载流子浓度相关的原理制备氧气浓度传感器，是一种可以测汽车内的氧和钢水中的氧的传感器^[32]；浓差电池型气体传感器：具有电化活性气体在这类传感器的两端会产生浓差电动势，通过电位差得知气体浓度值，典型的产品有氧气传感器，目前的氧气传感器一般都价格昂贵，而且种类不多，如果要应用在便携式的仪器中，成本太高。

2.3 本章小结

本章详细介绍了气体传感器的分类、原理以及发展情况，还简介了电化传感器的相关知识。调研市场上相关的传感器器件，在比较后选择了最适合本课题的器件。

第3章 室内空气质量监测仪的硬件设计

3.1 室内气体监测仪总体设计方案

3.1.1 系统完成的技术指标

根据空气质量检测标准，室内空气质量监测仪的总体技术指标如表 3-1 所示。

表 3-1 总体技术指标

型号	被测气体	监测范围	分辨率	单位	响应时间/sec	寿命/年	输出
ME3M-CH ₂ O	甲醛	0~20	0.1	ppm	< 120	3	电流
ME3-NH ₃	氨气	0~50	0.5	ppm	< 150	2	电流
ME2-CO	CO	0~1000	0.5	ppm	< 50	3	电流
MC112	CH ₄	0~3	--	%	< 10	2	电压
ZH01	PM _{2.5}	15000 个/283ml	--	mg/cm ³	< 60	2	电压

3.1.2 系统的总体设计方案

本课题研究的室内空气质量监测仪，系统硬件由电源、温湿度传感器，电化学型甲醛传感器 CH₂O、电化学型一氧化碳 CO 传感器、电化学型氨气 NH₃ 传感器、催化燃烧型甲烷 CH₄ 传感器、各个传感器的信号处理电路、LCD12864 液晶、STC12C5A60S2 处理器、USB 转 TTL 通讯电路和报警电路等部分组成。模块化的设计了软件程序，使得气体的测量精度得到提高，由于系统功耗低并且操作十分简单，可以进行现场监测分析，可以通过显示屏清晰的读出数据。

由于本课题要测气体多样，所以把课题具体分为基于 STC 单片机的控制处理系统、LCD 的更新显示模块、不同气体信号不同处理模块的设计以及报警等内容。

不同被测气体信号处理放大电路的设计：研究分析每种被测量气体的量

程，精度，稳定性和分辨率等重要性能，根据输出类型的不同，采取不同的测试电路，最后得到要测气体的最佳测试方案，设计不同的处理电路，根据信号的大小进行不同程度的放大，并且进行了相应的滤波整形电路和报警电路，最终设计出最合适各个传感器的方案。报警模块：按照不同的气体传感器获得的不同测量结果进行相应的控制和报警；本课题的设备暂时预留串口，解决了市面上的空气质量监测仪目前暂无通讯串口的情况；日后技术发展更加成熟，根据测试的结果用户可以利用开、关控制改善空气质量仪的空气净化机等。

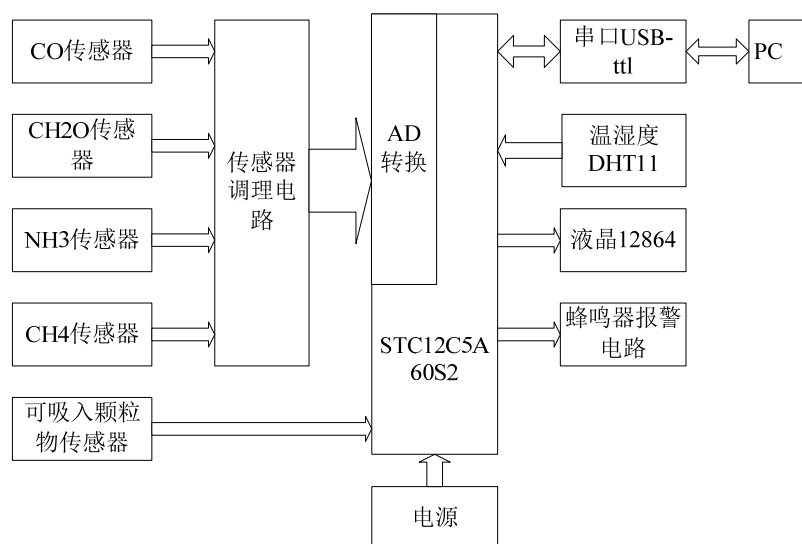


图 3-1 室内空气质量监测仪整体框架图

从上框架图可知，室内空气质量监测仪应用前端各种类型的传感器，如可吸入颗粒传感器、温湿度传感器，各电化学型传感器等等，类比于人体的五官，用这些传感器进行采集初始的信号。CO 电化学气体传感器、NH₃ 电化学气体传感器、HCHO 电化学气体传感器和 CH₄ 电化学气体传感器这四个电化学传感器输出的模拟信号极其微弱，所以将微弱的电流信号进行放大滤波处理再送入单片机内的 A/D 模块转换成数字量；可吸入颗粒物传感器模块输出的电压信号是 0-5V，可以直接连接到单片机的 A/D 转换为数字量进行分析处理。温湿度传感器输出的也是数字信号，此特点易于测量。本监测仪可以放在家中随时随地的显示，而且预留的串口可以待日后科技更加先进，与其他高级设备连接来进行跟踪调节。本监测仪的主要特点有：

本监测仪能够对现有的多种主要室内有害气体进行监测，依据 GB/T18883 - 2002《室内空气质量标准》等国家标准，还有现有装修造成的常见的环境空气污染源，而设计研制了本多参数监测仪的相应的技术性指标。在设计本课题时，采用自然扩散式对一氧化碳、氨气、甲烷、可吸入颗粒物以及甲醛等五项参量进行采样。采用局部加热生成气流的方式，可吸入颗粒传感器能主动吸取粉尘，这样就避免了使用气泵和风扇导致的辐射、噪声还有功耗等诸多问题。多参数室内空气质量监测仪根据室内空气的相应情况，会采用不同的输出方式。通常监测仪会通过 LCD 液晶屏幕来显示各个气体的浓度值。当室内气体污染物超标时，监测仪自动切换到报警，提醒用户应该采取措施。本仪器预留了相应的通讯串口，可应用预留的串口连接到计算机，使得监测仪日后能够和空调和空气净化仪等相连，实现远程的控制，如果空气发生异常情况或是超标了，就会启动高级设备对气体进行处理。

所以根据以上阐述的原理，设计的整体框图如 3-1 所示。系统在上电后，会开机自检，然后开始实时监测 7 项指标，液晶显示各个气体的浓度值；当检测到某项的气体超标时，系统自动报警，提醒用户要采取相应的措施，并通过串口发出控制指令。

3.2 电化学气体传感器的选型

3.2.1 甲醛传感器选型

测定甲醛 HCHO 的方法有很多种，而化学方法，相对而言操作麻烦，又费时间，比如酚试剂比色法、AHMT 法、液相色谱法、乙酰丙酮法、变色酸法、盐酸副玫瑰苯胺法和气相色谱法等^[33]。以上检测方法准确可靠，可是不适合现场实时监测，因为测定周期长，测量操作又十分繁琐。为实现现场测定室内空气中 HCHO 浓度，国内普遍使用电化学传感器法^[34]。所以本课题的甲醛传感器以及其他的气体传感器均选择电化学型。

(1) 甲醛传感器的技术指标

本课题选择的甲醛传感器为电化学传感器，电化学传感器检测甲醛气体有较高的精度，郑州炜盛公司的电化学甲醛传感器符合本课题的要求，工作原理为工作电极响应甲醛气体，生成和甲醛气体浓度成比例的极小电流，通

过测试电流的大小就可判定 CH_2O 浓度的高低。每ppm甲醛气体输出 $1.1\pm 0.5\mu\text{A}$ 电流，微弱电流经过传感器的处理模块后输出为 4~20mA 电流，在经过电流电压转换后得到AD转换器可以接收的模拟电压值。此传感器具有具有线性度输出，分辨率高达 0.02ppm，长期漂移小、低功耗，高精度，高灵敏度，抗干扰能力强，优异的重复性和稳定性的特质。广泛的适合工业和环保中的甲醛的检测^[35]。其实物图如图 3-2 所示。



图 3-2 电化学型甲醛传感器实物图

本课题选用的郑州炜盛电子科技有限公司的 ME3M-CH₂O，以 $1.1\pm 0.5\mu\text{A/ppm}$ 电流输出，分辨率可达 0.02ppm，空气中寿命可达 2 年。其体积小，适合便携式设备。其技术参数如表 3-2。

表 3-2 甲醛传感器技术参数

项目	参数
检测气体	甲醛
量程	0-10ppm
最大测量限	50ppm
灵敏度	$1.1\pm 0.5\mu\text{A/ppm}$
分辨率	0.02ppm
响应时间	$\leq 60\text{s}$
负载电阻	100Ω
重复性	<2%输出值
输出线性度	线性
零点漂移	$\leq 0.2\text{ppm}$
温度范围	-20℃~50℃
适度范围	15%~90%RH 无凝结
压力范围	标准大气压 $\pm 10\%$
检测寿命	2 年（空气中）

在储藏时，传感器必须保持短接，只有准备使用时才能去除此短接。如果工作电极和参比电极这两个电极不短接，在仪器不供电时，一旦传感器再次使用就需要比较长的“启动时间”。以便甲醛传感器能够处在准备状态，需要短路连接传感器的参比电极和工作电极。

HCHO 传感器在 10ppm 的浓度下，其输出信号特性曲线如图 3-3 所示。

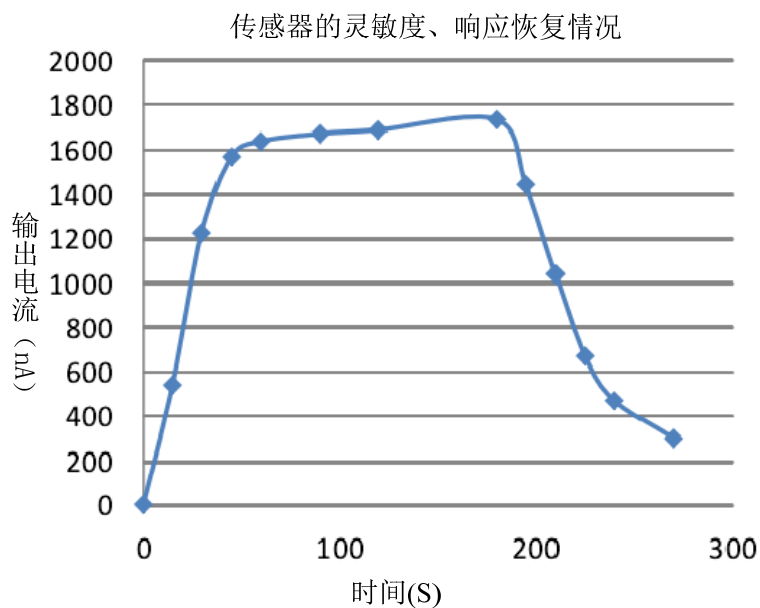


图 3-3 甲醛传感器的灵敏度和响应恢复情况

(2) 甲醛传感器的结构

定电位电化学型甲醛传感器有三个电极，图 3-4 为其结构图：

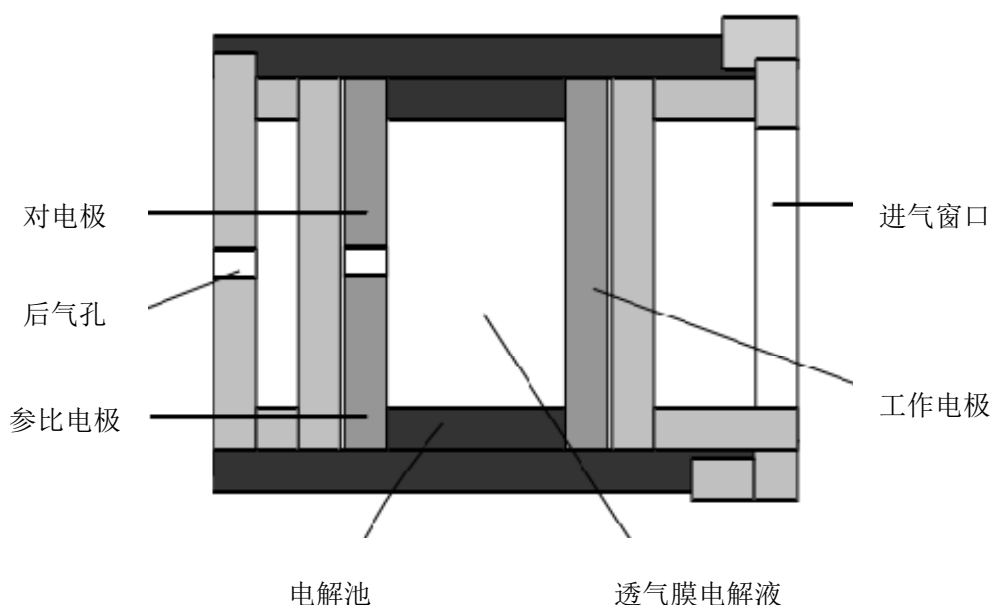


图 3-4 恒电位电解式传感器结构图

电解液是工作电极、对电极和参比电极三个电极间的导体，也是形成电池的重要组成部分。气体扩散电极包括三个电极，由良好导电性的催化膜和较强疏水性的透气膜组成^[36]。透气膜能够以防电解池内的电解液出现外漏，它作为进气通路，还可以防止电解池外渗入到内部的水汽，所以这层塑料性薄膜是一层多孔的并且具有较强的疏水性。三个电极使得被测气体和电解液能够更好的接触，快速产生电化学反应，然后采集反应电荷。电解液为酸性溶液或者碱性溶液，并与三个电极构成了较好的电极电位，无干扰气体出现，易产生电化学反应。

在特定电解液中置放气体扩散电极，并加上一定的电压在反应电极之间，待测气体发生氧化还原反应，测量气体被电解，并在仪器中的电路内产生电流，然后应用STC微处理器计算得到气体的浓度^[37]。

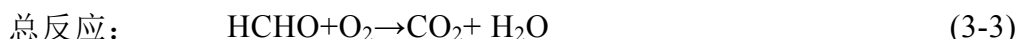
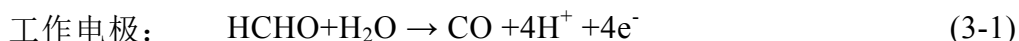
(3) 甲醛传感器的工作原理

根据甲醛传感器的结构可以知道，工作电极与对电极同时浸入到电解液中时，外加电压会使得两电极间产生极化。假如对电极为正极，工作电极为负极，则电解液中的负离子向对电极移动，而正离子向工作电极移动，此时被测气体向对电极扩散，发生电化学反应而生成电荷。

在甲醛传感器中，以及催化剂镍、钨、铂等金属粒子的作用下，酸性电

解液的电解池内，甲醛气体向工作电极扩散，而发生氧化还原反应：

电极反应如下：



此时，甲醛在工作电极与对电极上产生电位变化，在工作电极上释放电子，对电极上得到电子，形成的电流大小与气体浓度有关^[38]。

3.2.2 CO传感器选型

CO 传感器主要有可变电阻式以及电化学式两种类型。其中可变电阻式 CO 传感器应用高低温循环方式，高温清洗低温时吸附的杂散气体，因为采用的气敏材料在清洁空气中电导率低，通过电路把电导率的变化对应到一氧化碳气体浓度，然后输出相应的电信号；低温检测一氧化碳，随空气中的一氧化碳气体浓度增加，一氧化碳传感器的电导率增大。

(1) CO 传感器的技术指标

综上所述，CO 传感器选用的郑州炜盛电子科技有限公司的 ME2-CO，1000ppm 的大量程，当室内气体超过 300ppm 时，说明可燃气体泄漏，实时报警。其实物图如图 3-5 所示，其中，CO 气体传感器的技术参数如表 3-3 所示。



图 3-5 CO 气体传感器实物图

表 3-3 CO 传感器技术参数

项目	参数
检测气体	一氧化碳
量程	0-1000ppm
最大测量限	2000ppm
灵敏度	0.023±0.008uA/ppm
分辨率	0.5ppm
响应时间	≤50s
负载电阻	200Ω
重复性	<3%输出值
输出线性度	线性
零点漂移	≤10ppm
温度范围	-20℃~50℃
适度范围	15%~90%RH 无凝结
压力范围	标准大气压±10%
检测寿命	5 年（空气中）

(2) CO 传感器的结构

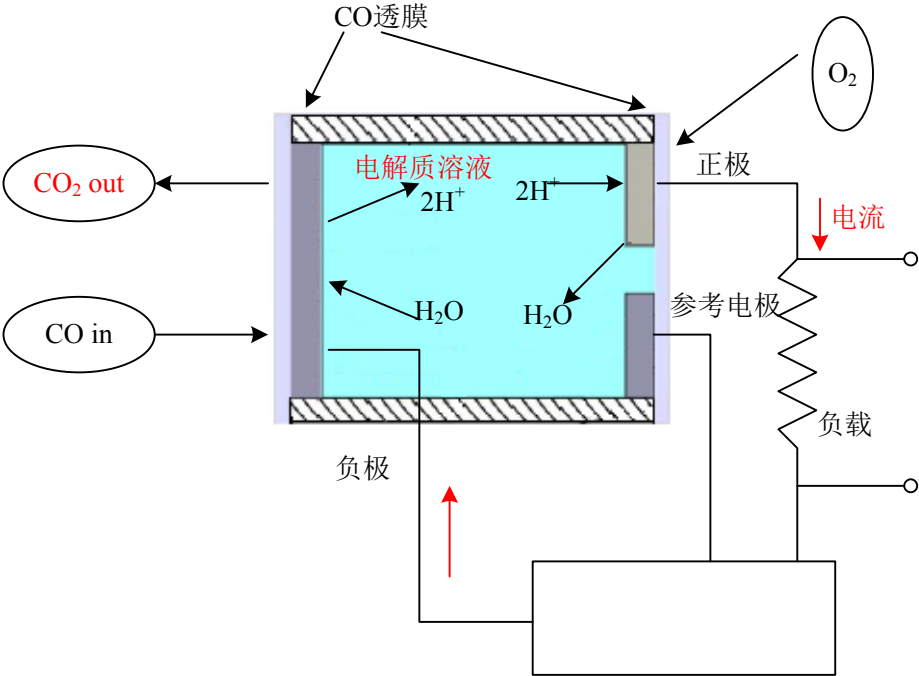
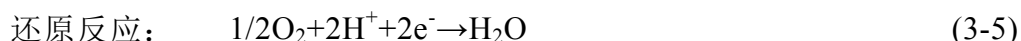
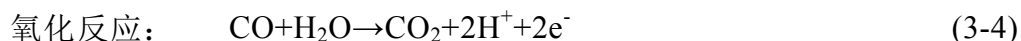


图 3-6 一氧化碳传感器原理示意图

(3) CO 传感器的工作原理

电化学气体传感器由发生还原（氧化）反应的正极和发生氧化（还原）反应的负极，和监测电极电位变化的参考电极构成。当有CO气体时，负电极端发生一氧化碳氧化反应。此时形成两层电离子，其中氢离子分布在电解液中，电子分布在负极周围。外部电路与负极和正极相结合，电子由负极流向正极。在电解液中，氢离子移动来接受正极端电子。那么，依据氧化还原化学反应，电化学气体传感器所产生的能量，以电能的形式直接释放，进而监测气体。反应状态图 3-6 所示^[39]。

电极反应如下：



3.2.3 NH3 传感器选型

(1) 氨气传感器的技术指标

由于本课题选择的电化学型氨气传感器和本课题选择的甲醛传感器一样，同为电化学式传感器，而工作原理以及结构也和甲醛传感器一样，所以不再细述。其实物图如图 3-7 所示。



图 3-7 电化学型氨气传感器实物图

选用的郑州炜盛电子科技有限公司的 ME4-NH3，空气中寿命 2 年， $0.12 \pm 0.03 \mu\text{A/ppm}$ 电流输出，分辨率为 0.1ppm，其技术参数如表 3-4。

表 3-4 氨气传感器技术参数

项目	参数
检测气体	氨气
量程	0-50ppm
最大测量限	200ppm
灵敏度	0.12±0.03uA/ppm
分辨率	0.1ppm
响应时间	≤90s
负载电阻	10Ω
重复性	<10%输出值
输出线性度	线性
零点漂移	-3~10ppm
温度范围	-20℃~50℃
适度范围	15%~90%RH 无凝结
压力范围	标准大气压±10%
检测寿命	2 年（空气中）

3.2.4 甲烷传感器选型

(1) 甲烷传感器的技术指标



图 3-8 催化燃烧式甲烷传感器实物图

MC112 型催化元件的补偿元件和检测元件配对组成电桥的两个臂，在遇可燃性气体时，依据催化燃烧效应的原理，检测元件电阻值升高，桥路输

出电压产生变化，该电压与气体浓度成正比例，补偿元件主要是起参比及温湿度补偿作用。

其特点是桥路输出电压呈线性、响应速度快、具有良好的重复性和选择性、元件工作稳定可靠、优异的抗 H_2S 和有机硅中毒能力。其实物图如图 3-8 所示。

主要应用的范围是工业现场的液化气、天然气、烷类、煤气等可燃性气体的浓度检测。可燃性气体泄漏报警器；可燃性气体探测器；气体浓度计。甲烷传感器的技术参数如下表 3-5 所示。

表 3-5 甲烷传感器技术参数

项目	参数
检测气体	甲烷
标准封装	金属封装、冶金粉末网
工作电压 (V)	3.0±0.1
工作电流 (mA)	110±10
灵敏度 (mV)	20~40
线性度 (%)	≤5
测量范围 (%LEL)	0~100
响应时间 (90%)	小于 10 秒
恢复时间 (90%)	小于 30 秒
使用环境	-40—+70℃ 低于 95%RH
储存环境	-20—+70℃ 低于 95%RH
外形尺寸	9.5×14×19mm
防爆标志	Exdib I

(2) 甲烷传感器的结构

MC112 有四个引脚，包括表面涂有催化剂的检测器件D和表面没有涂催化剂的补偿器件C，这两个检测器件构成了电桥的两臂，外加上阻值为两个 $2\text{K}\Omega$ 和一个 500Ω 的电阻构成了回路，以便回路中的工作电流不会因过大导致元件烧毁。在应用电路中，传感器所工作的电桥需要 3V 的直流工作电压，为传感器在接触甲烷气体时能够提供燃烧需要的热量^[40]。此时补偿器件C无反应，电阻率，温度以及电桥输出电压都不会变化，但是检测器件的电阻率，温度以及电桥输出电压都会发生变化，这个变化反应了空气中甲烷气体的浓度值。

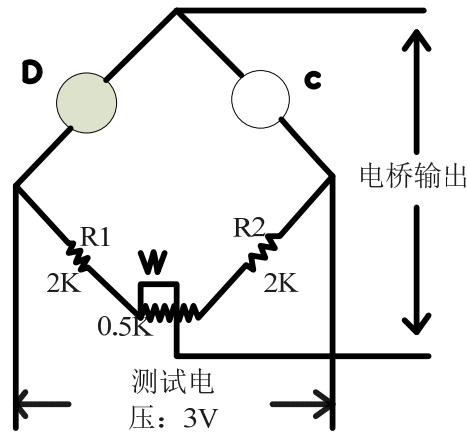


图 3-9 甲烷传感器的应用电路

(3) 甲烷传感器的工作原理

本课题选取的是郑州炜盛公司的 MC112 型号，它属于载体催化气敏元件，MC112 催化燃烧式甲烷传感器，由图可知，在低浓度时，传感器的线性度很好。甲烷传感器的灵敏度特性如图 3-10 所示。

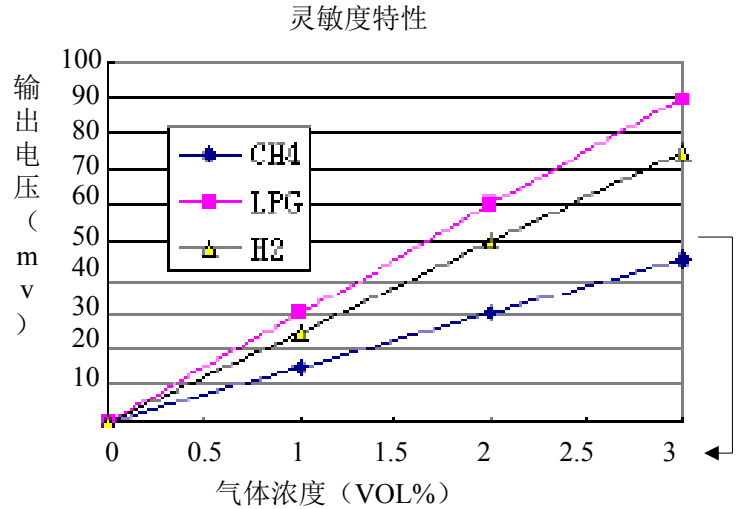


图 3-10 甲烷传感器的输出特性曲线

每年在空气中漂移小于 ± 2 个 mV，每年在 1%CH₄ 浓度中漂移小于 ± 2 个 mV。30 分钟即可稳定短期储存（两周内），若长期储存（一年），则需老化 5 小时才可稳定。通过图 3-11 可以看出甲烷传感器的长期稳定性。

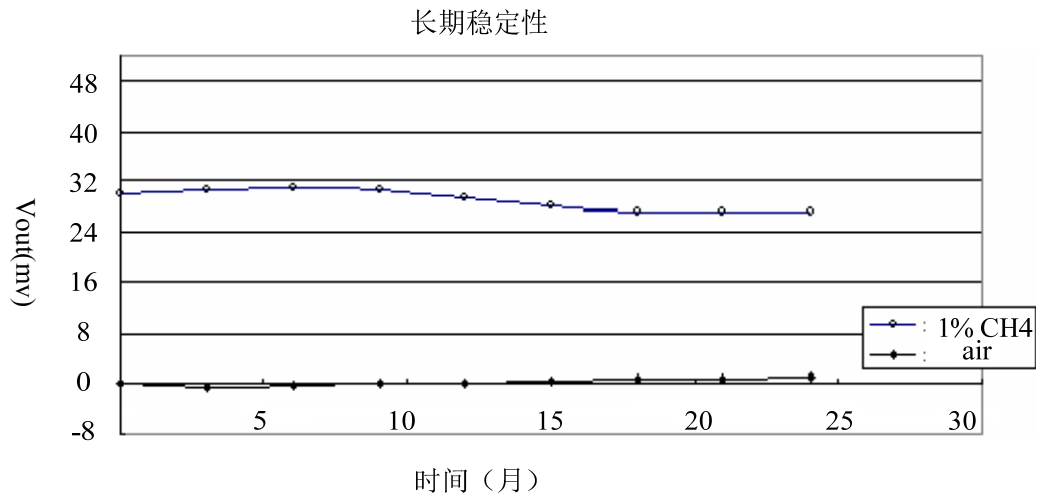


图 3-11 甲烷传感器的长期稳定性

3.2.5 PM2.5 传感器

可吸入颗粒物是指直径小于等于 $10\mu\text{m}$ ，可在大气中长期漂浮的粒子，也称为粉尘、飘尘或可吸入尘。由于粒子可被直接吸入呼吸道，深入到肺泡和细支气管，沉积在上呼吸道等使人体受到危害，所以室内的可吸入颗粒物也是空气监测的十分重要一项。可吸入颗粒物浓度的测试方法一般分为重量法和 β 射线吸收法等等，测试方法多样。其实物图 3-12 所示。

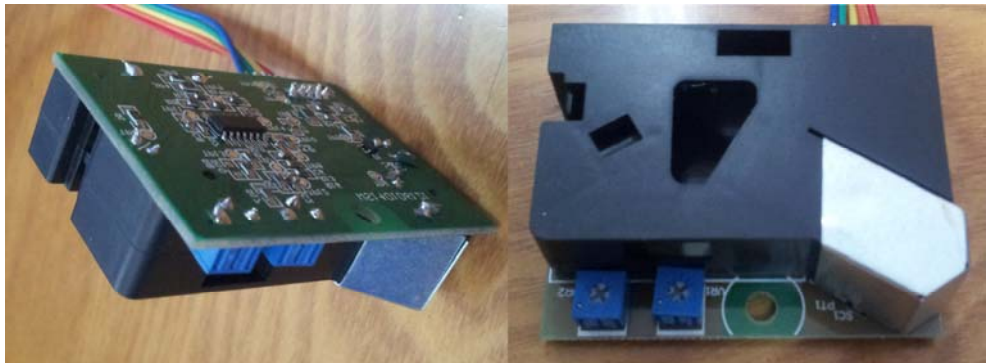


图 3-12 可吸入颗粒传感器实物图

(1) 可吸入颗粒传感器的技术指标

郑州炜盛公司的 ZH01 气体传感器，内置气流发生器，能够自行吸入外部空气，还可以检测到每单位体积粒子的绝对个数。它体积小巧，灵敏度高，可用于测量 0.8 微米以上的微小粒子，可用于检测室内环境中烟气、粉

尘、花粉等浓度。此款产品安装保养方便，精度高，使用寿命长，稳定性好。可吸入颗粒物传感器的技术参数如表 3-6 所示。

表 3-6 可吸入颗粒物传感器技术参数

项目	参数
检测气体	甲烷
工作电压（V）	5.0±0.5
输出电压	0.7V（低电平，有粒子时） 4.3V（高电平，洁净空气时）
最小粒子检出能力	1μm
测量范围（%LEL）	15000 个/283ml
工作电流（最大值）	90mA
湿度范围	储存环境 -20℃~80℃ 工作环境 -10℃~60℃
温度范围	储存环境 最大 90%（不超过 48 小时） 工作环境 最大 90%（不超过 48 小时）
稳定时间	加热器电源接通后约 1 分钟

(2) 可吸入颗粒物的结构

β 射线吸收法是利用抽气泵将空气吸入采样管，β 射线通过附有可吸入颗粒物的滤膜时，会产生 β 吸收，要想得到可吸入颗粒物的浓度，只需要测 β 吸收便可以。但抽气泵不仅噪声大而且耗能大，用于居民日常持续监测室内环境不适合。

因重量法自动化程度低，为实现滤膜更换和取样需要大量的人工工作，违背了本课题的智能自动监测的原则，所以不采用这种方法。

还有一种检测原理是光散射粒子计数。灰尘粒子散射光学传感器的探测光而生成光脉冲，在光敏元件的作用下转换为电脉冲，然后再进行放大、测量和计数等，最后将数据与标准粒子信号进行比较便可以了。

衡量三种检测原理之后，选择第三种基于光散射原理的可吸入颗粒物传感器 ZH01，来检测室内空气中的粉尘以及可吸入颗粒，图 3-13 为原理结构。

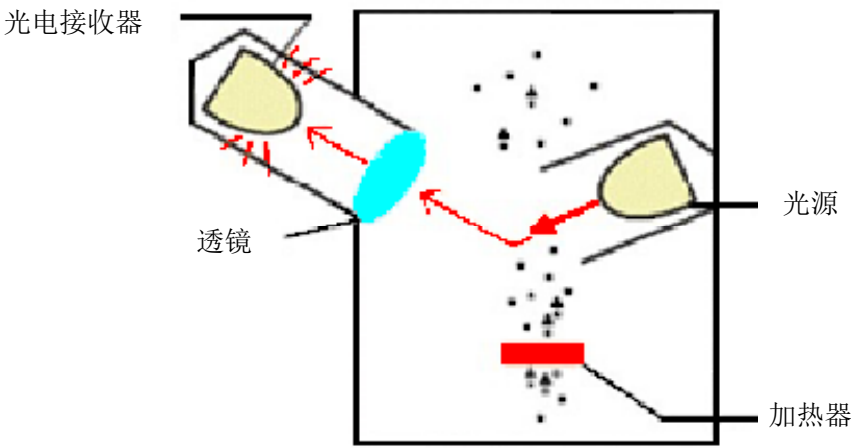


图 3-13 可吸入颗粒传感器原理图

(3) 可吸入颗粒物传感器的工作原理

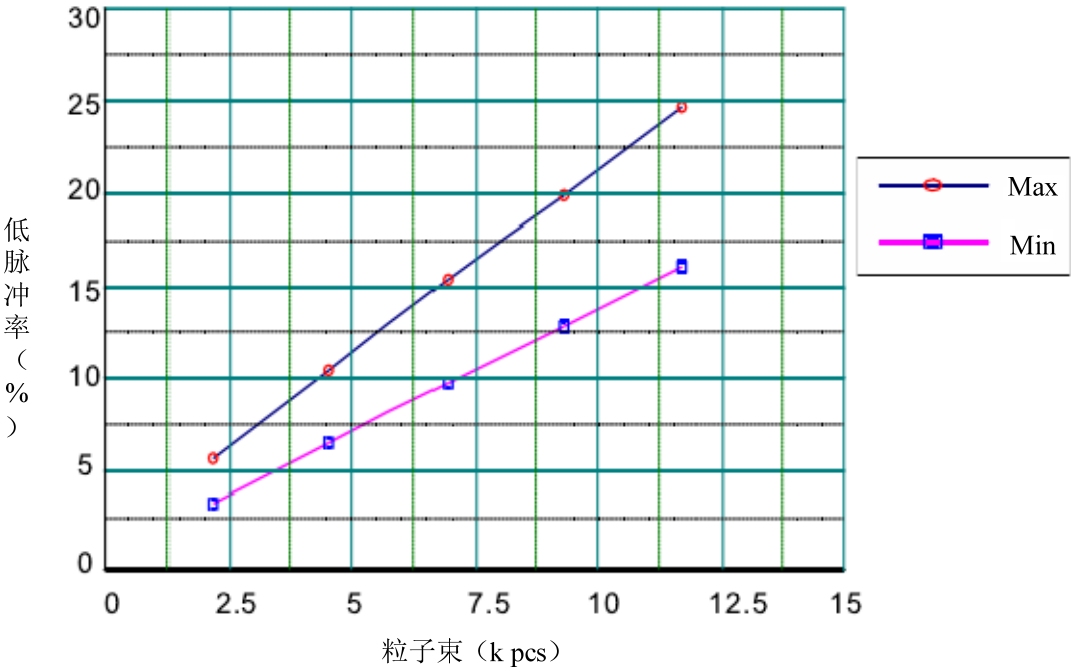


图 3-14 可吸入颗粒输出特性曲线图

内置加热器在电源接通后开始发热，，外部空气因为气流上升而被吸入到传感器模块的内部；LED 光源的探测光照射空气中的尘埃粒子，使探测光产生散射，散射光又被透镜汇聚，光电转换器又对信号进行转换，变为电脉冲后就更容易进行测量，然后通过电路放大后，判断粒子的大小和计数。

低脉冲率与粒子数关系特性曲线如图 3-14 所示。

传感器输出为 PWM 调制脉宽输出，低脉冲时间总数除以单位时间再乘以百分之百等于低脉冲率。输出波形如图 3-15 所示。

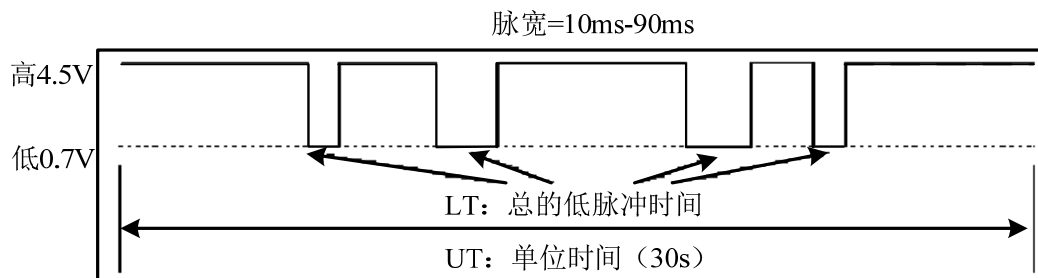


图 3-15 可吸入颗粒传感器输出波形

传感器的产品优势为采用粒子计数原理，PWM 脉宽调制输出，内部的加热器可自行吸入空气，非传统形式的泵式吸入。对于直径 $1\mu\text{m}$ 以上的粒子可以灵敏检测。5V 的输入电路，便于信号处理，保养简单，可长期保持传感器的特性。应用领域：空气清新机，空气调节器，环境监控设备，通风设备。

3.3 气体传感器处理电路设计

因为本课题选择了电化学型传感器，所以在设计相应的处理电路时，需要注意以下几个问题^[41,42]：

(1) 因为传感器的灵敏度数量级极低，通常为 $10^{-1}\sim 10^{-2}\mu\text{A/ppm}$ ，想要直接测量电流，普通的电流表是很达到要求的，所以在一级电路中必须引入电流-电压转换。为了方便和监测仪的连接，使被测气体浓度与电流的对应关系转变为与电压的对应关系。

(2) 由于电化学型气体传感器其工作偏压是否稳定对噪声和灵敏度有直接影响，偏压的选取会决定被测量气体的种类，所以为提高对被测量气体的选择性，为了减少噪声，消除其他气体产生的干扰，采用恒电位控制电路，保证传感器可以工作在最佳点。

(3) 加入调零电路校正。当被测气体浓度是零时，因传感器加入了偏压的影响，生成基本电流，使得输出电压不为零。

(4) 在电路中加入滤波电路，降低因传感器本身或者 I/V 转换器输出

的噪声，而直接影响测量精度。

3.3.1 氨气传感器的信号处理电路

首先用信号放大处理电路来采集电化学型氨气传感器的输出信号，再通过 OPA333 运算放大器将传感器 mV 级的输出信号放大至 V 级。在电路中使用 J177 开关以便减少传感器的预热时间；能使传感器的参比电极和工作电极在电路不工作时处于短路状态，延长传感器的使用寿命。

电化学氨气传感器有三电极构成，是定电位电解式传感器。由恒电位电路以及传感器的工作电路组成电化学型氨气传感器的信号处理电路。

在本课题中所用的是三电极的电化学传感器，包括对电极以及参比电极还有工作电极。外电路在传感器工作时，在工作电极和参比电极之间会施加一个恒电位差，以便工作电极保持一个恒定的电位^[43]。如图 3-16 所示。

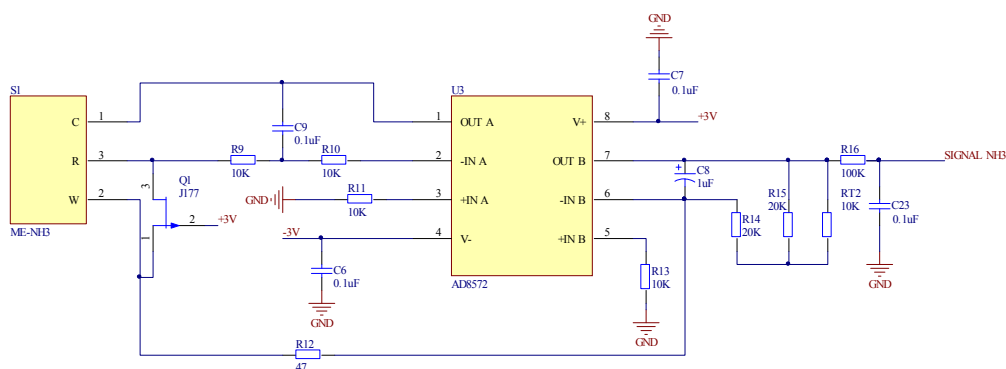


图 3-16 氨气传感器硬件原理图

在图 3-16 电路中，C9、R9、R10、Q1 和 AD8572 内部的 A 运放构成了恒电位电路，本课题选用的是 AD8572，该芯片的信号放大器具有低漂移，超低失调、漂移和偏置电流特性。AD8572 为双路运放，使电路更加简单，而且有轨到轨输入和输出摆幅的能力。是一款集合了高精度和低漂零的芯片^[44]。由于 AD8572 的失调电压只有 $1\ \mu\text{V}$ ，失调电压漂移也只有 $0.005\ \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ，所以十分的适合本课题不允许存在误差源的情况。AD8572 在工作温度范围内漂移差不多接近零。所以十分适合本课题的精密电流的检测。在电路开始工作之后，J 型场效应管就会处于高增益的状态，为了使运放 A 的电压和参比电极相同，向工作电极提供电流，在电路工作时运放 A 中的偏置电压造成了偏置效果，产生了极大的漂移，而连接了参比电极的输入运放 A

的信号，并未对参比电极的主要电流信号造成很大的影响和淹没它。图中的运放B 用来进行 I/V 转换，其中R12 的阻值很小，在所有情况下，为了避免影响传感器的性能，在R12 上的压降都应该限制在 10 毫伏内。采用的 AD8572 运放进行电流电压转换，当甲醛传感器感应到甲醛气体时，由电极生成的电流信号得到电压信号，传感器输出电流和电路输出的电压关系为：

$$U = I \times (R14 + R15 / RT2) \quad (3-7)$$

其中 R14 和 R15 的阻值为 20k，经过 I/V 转换后，传感器输出的电流信号从 μA 级变为伏级的电压。

3.3.2 甲烷传感器的信号处理电路

甲烷传感器的信号处理电路如下图所示，通过 AD623 进行放大后，直接送入到单片机。MC112 在监测瓦斯上输入输出的线性度良好，有灵敏度的特性曲线可以得出 $Y_{\text{输出}} = 0.015X_{\text{输入}}$ ，X 输入为气体浓度的百分比，Y 输出是输出的电压值，瓦斯监测的最大范围是 0-3%，那么浓度百分比为 0-3，对应输出电压值为 0-0.045V，要想使 AD 收到的是 0-5V，输出应该放大 111 倍，所以增益 $G=111$ 。 $R_g = R_{24} = 100k / (G-1) = 1.22k$ 。

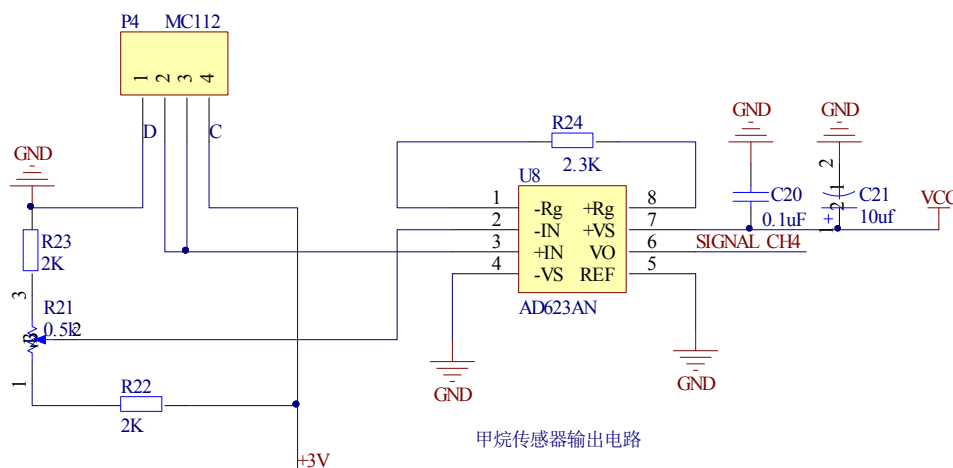


图 3-17 甲烷传感器输出电路

3.3.3 CO传感器的信号处理电路

信号的处理电路如下图 3-18 所示，因为传感器的输出信号非常微弱，

以免出现干扰信号，而影响到精度，所以把这部分和传感器组成一体，RT1 热敏电阻用于温度补偿校准，R1、R2、RT1 对信号进行放大，R3 和C3 用于滤除杂波^[45]。CO传感器输出电路如图 3-18 所示。传感器输出电流和电路输出的电压关系为：

$$U=I \times (R1+R2 // RT1) \quad (3-8)$$

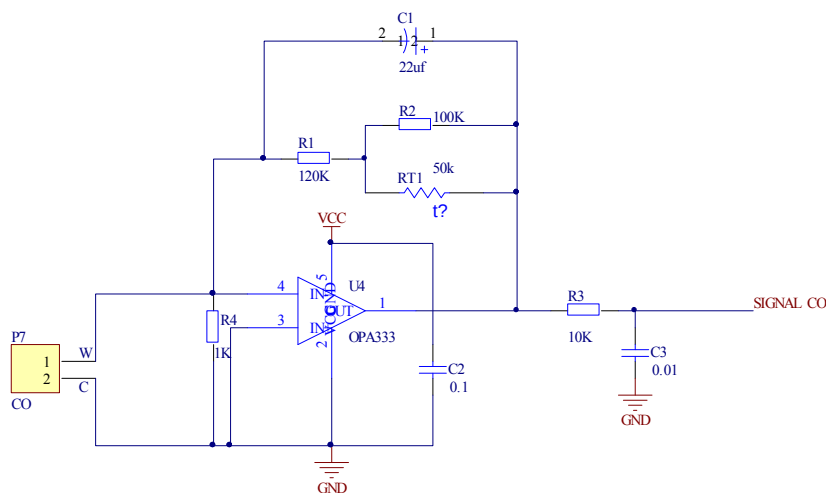


图 3-18 CO 传感器输出电路

3.3.4 甲醛传感器的信号处理电路

根据甲醛和一氧化碳这两个气体传感器的说明书，又因为都是电化学气体传感器，所以本课题采用相同的信号处理电路，根据不同精度，放大倍数做了适当调整。甲醛传感器输出电路如图 3-19。

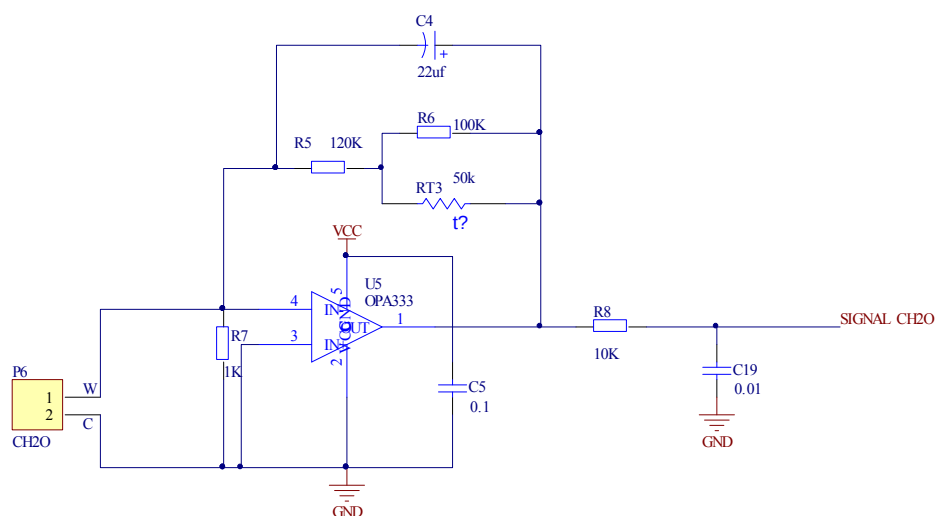


图 3-19 甲醛传感器输出电路

3.4 电路系统设计

3.4.1 单片机的选择

在 51 系列单片机中，STC12C5A60S2 系列单片机是一款宏晶公司出品的 1T 增强型单片机，不仅速度快，功耗低而且抗干扰能力强，它不但运行速度是传统 8051 的八倍到十二倍，而且可以完全采用传统 8051 的管脚设置和指令代码，因为具有片内 FLASH 工艺的大容量程序存储器，可通过全双工异步串口向单片机进行程序烧写。因为这种单片机运用较低水平的硬件就可以开发，所以大大减短了开发时间，目前 STC12C5A60S2 的价格十分低廉，有充足的市场供应，是一款性价比很高的单片机。对于电机控制，适合干扰性较强的应用场合^[46]。STC12C5A60S2 单片机其管脚图如图 3-20 所示。

室内空气质量监测仪的电路设计中，单片机最小系统的管脚接线如下：P1.0-P1.3 为前置放大后电信号的输入管脚；P1.4 和 P1.5 为粉尘气体传感器信号的连接管脚。P3.0 和 P3.1 为连接串口所需芯片 USB 转 TTL 芯片的连接管脚；P0.0~P0.7 为液晶显示 12864 的数据传送管脚；P2.7 为温湿度传感器的输出信号连接引脚；P2.6 为声光报警电路的连接引脚；P2.2 为液晶复位信号管脚；P2.5 为液晶显示屏读写使能信号管脚；最小系统原理图，如图 3-20 所示。

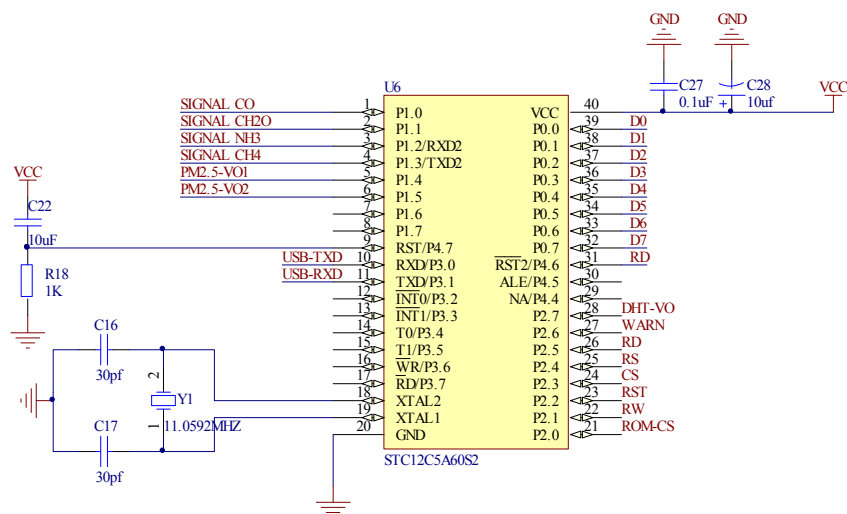


图 3-20 单片机 STC12C5A60S2 的管脚图

3.4.2 电源电路设计

MCP1700 采用的低压差稳压器应用了CMOS的制造工艺，其输入电压在 2.3V-6.0V之间，不同的多种的电压输出方式使得这个芯片更加普及广泛。本课题就先采用MCP1700 进行了电压的转换，为了实现一氧化碳、甲醛等电化学型传感器的 $\pm 3V$ 供电，需要把+5V电源电压转换成+3V，为了得到-3V的电压，选择用芯片MAX660，把+3V的电源电压转换成-3V，便得到了 $\pm 3V$ 的供电电压。芯片MAX660 典型的工作电流一般是 $120\mu A$ ，其中单片电荷泵高压变频器能够将输入电压范围为+1.5V到+5.5V，转换后变成输出电压是-1.5V到-5.5V，而且性能十分稳定。电源电路如图 3-21 所示^[47]。

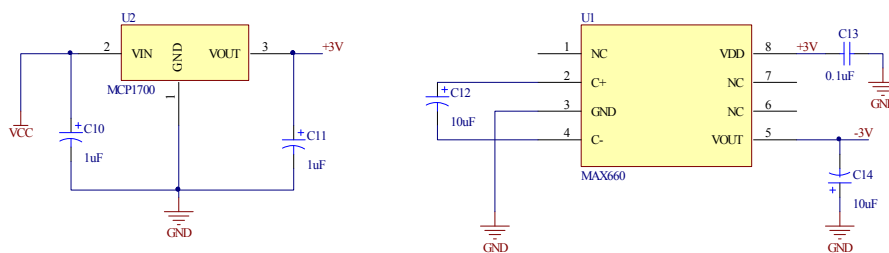


图 3-21 电源转换模块

3.4.3 液晶显示系统

本课题选用的是 12864 点阵液晶模块是 QC12864B，因为具有功耗低

和体积小的优势，并且点阵液晶显示控制器具有驱动输出，能够实现被测气体的实时显示和更新，具有良好的交互界面。因为可以直接和单片机相连，所以于家用中小型仪器中被广泛的应用。

表 3.5 LCD12864 管脚功能介绍

管脚号	管脚名称	LEVER	管脚功能
1	VSS	0V	电源地
2	VDD	+5V	电源电压
3	V0	—	LCD 驱动电压输入端
4	RS(CS)	H/L	RS=“H”,表示 DB7~DB0 为显示数据 RS=“L”,表示 DB7~DB0 为显示指令数据
5	R/W	H/L	并行的读写选择信号;串行的数据口
6	E(CLK)	H/L	并行的使能信号;串行的同步时钟
7	DB0	H/L	数据线
8	DB1	H/L	数据线
9	DB2	H/L	数据线
10	DB3	H/L	数据线
11	DB4	H/L	数据线
12	DB5	H/L	数据线
13	DB6	H/L	数据线
14	DB7	H/L	数据线
15	PSB	H/L	并/串行接口选择:H-并行;L-串行
16	NC		空脚
17	RET	H/L	复位信号,低电平有效
18	NC		空脚
19	LED-A	—	背光源正极(+5V)
20	LED-K	—	背光源正极(-0V)

此类液晶显示模块的特点如下：具有 2 线或 3 线串行、4 位/8 位并行等多类接口种类；内置 8192 个 16*16 点汉字，以及 16*8 点ASCII字符集 128 个，显示分辨率是 128×64；显示方式有三种，分别为：STN、半透、正显；其中驱动方式有两种，分别为：1/32DUTY，1/5BIAS；侧部高亮白色 LED 的背光方式，功耗只有普通类型的 LED 的 1/5—1/10；内部点阵图形液晶显示模块含有的简体中文字库为国标一级、二级；2MHZ 时钟频率；视角方向：6 点；内置 DC-DC 转换电路，无需外加负压；无需片选信号，简化软

件设计；灵活的接口方式和简单、方便的操作指令；能够实现图形显示，也能显示汉字为 8×4 行 16×16 点阵，电路结构或显示程序都要简洁；价格低廉^[48]。引脚特性如表 3-22 所示。

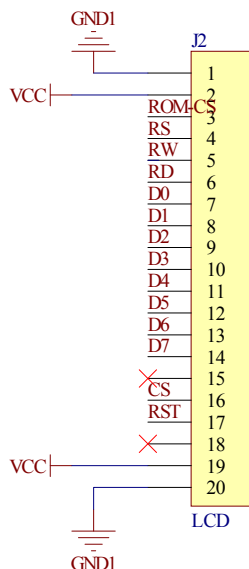


图 3-22 LCD 硬件连接图

3.4.4 模数转换电路

为了实现电路的简单易维护，本课题的模数转换芯片未采用外设的 AD 模块，而是用了单片机内部自带的 10 位分辨率串行模数转换器，来对 CO、NH₃、CH₄ 以及 HCHO 四种气体的输出值进行模数转换，采样频率高达 250kHz，完全能够确保监测仪的功能实现。而 1/(2¹⁰-1) 分辨率以及 1LSB 的线性度也确保了本监测仪对各项参数的精度需求。单片机的电路结构也因为串行输出而变得简单了不少，电路抗干扰能力随之提高。

3.4.5 串口扩展电路

为了实现烧写程序和调试的方便，本监测仪选用的 USB 转 TTL 串口，可以与单片机直接相连，无需再加转换芯片。因为传统的单片机和计算机不能通过普通的导线或者电缆连接，因为传输方式和传输电平等等都不同，所以一般都会选用 RS232/TTL 电平转换电路，完成计算机和单片记得串口通

讯，因而一般都会选择常用的 MAX232 芯片。但是考虑到体积大小，实用性和便携性，本课题选择了更加小巧经济和结构简单的串口即 USB 转 TTL 串口。

希望日后监测仪可以实现以下的功能：当监测仪发现某种气体的浓度值超出标准时候，串口会发出相应的指令，自动的连接相应的设备，如果要调节温湿度就自动打开空调，直到恢复到室内标准要求；如果要控制室内的空气质量，就自动的打开空气净化设备等等。但是因为相应的室内治理设备还未具有串口通信接口，希望日后能够完善此功能。本课题选用的常见的 USB 转 TTL 串口芯片为 5V 单电源供电，工作稳定，可以电平互换。其外围电路构造如图 3-23 所示。

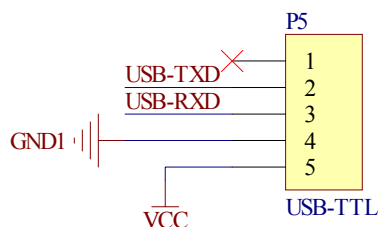


图 3-23 USB 转 TTL 串口芯片

本课题采用了 USB 转 TTL 串口通信模块，该模块可以一对一的控制环境设备；如果改变连接方式，监测仪也能够实现对一对多的控制。

3.4.6 声光报警电路

系统采用浓度超标报警模式，当室内气体超过空气质量检测标准之后，便会启动声光报警。报警电路如下图 3-24。

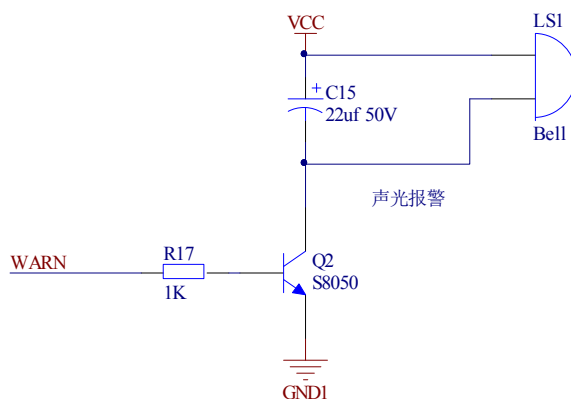


图 3-24 报警电路图

3.5 硬件抗干扰技术

系统运行时，会受到内部或外部的各种干扰，比如噪声干扰、放电干扰或者电磁干扰等，所以除了遵守相应设计规则外，必须采取可行的抗干扰措施，来提高和保证系统的安全性以及可靠性，所以对硬件电路进行布局布线时，还需考虑影响电路电磁兼容性、测量和控制精度和空气监测仪工作稳定性的因素。

本文采用的硬件抗干扰措施有：

- (1) 增大电源线宽度；
- (2) 芯片电源端连接去耦电容；
- (3) 模拟地与数字地分开布局；
- (4) 进入 A/D 之前的信号加电压跟随器隔离；
- (5) 在电源和地线之间加入去耦电容，防止抗干扰能力弱的芯片或者关闭电源时变化大的芯片。
- (6) 电源输入端接 100 μ F 的电解电容；
- (7) 设置专门的硬件复位电路。

3.6 电路实物图

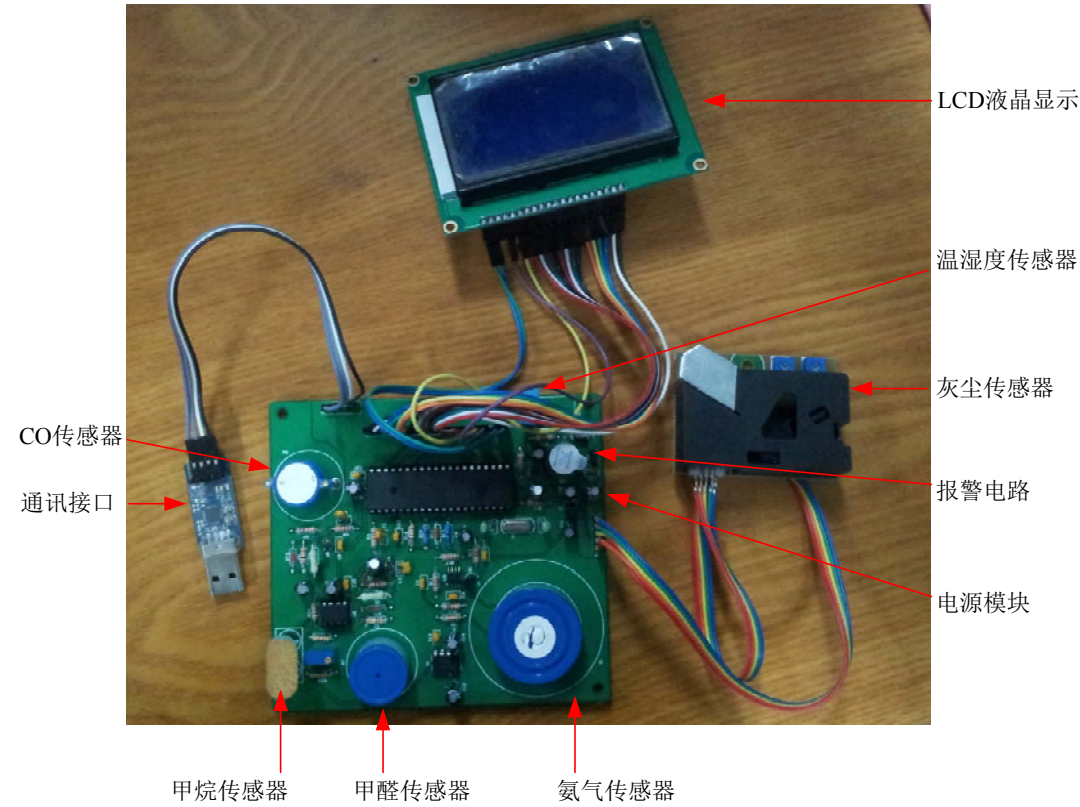


图 3-25 监测仪的 PCB 电路板

硬件电路由以上各部分组成，在充分考虑了抗干扰因素外，布线时将数字地和模拟地进行分别布线，然后两地用磁珠单点连接。在选择芯片时，为了保证电路的稳定性，应该选择常见典型的芯片和电路，使系统更加标准化和模块化。选用集成度高的芯片，在片内可以实现的功能，尽量不再外部外加电路。PCB 在制版时也力求紧凑和简洁。

3.7 本章小结

本章介绍了相关器件的选型，对硬件电路的研究，并对主要功能作了相关的介绍。重点讲述了中心控制电路、采样处理电路和电源模块的设计。

第4章 室内气体质量监测仪的软件设计

4.1 编译环境概述与系统框图

4.1.1 编译环境概述

本课题中的软件采用了 Keil μ Vision 4 C51 编译系统进行编写，此系统是由 KEIL 公司开发。有较强的可读性的模块化思想的系统软件设计，能够方便软件后续的修改、补充、移植。

在应用单片机时不仅需要进行硬件的设计还需要软件来实现相关的功能，相互配合才能让使单片机运作，单片机最初的编程语言为汇编，通过人工汇编或机器汇编把源程序变为单片机的机器语言，但随技术的发展，单片机迎来了 C 语言时代，使得编程和可操作性都大大加强，现在单片机的软件编写是利用 Keil C 来实现的。在利用 C 语言编译软件时，Keil C51 可以加以运用在任何 51 系列单片机，无论是其功能使用和结构方面上，或者可读性和易维护性上，与汇编语言相比，C 语言都展现了其它语言无可替代的优点，也适合程序员用来学习和使用，软件包含了完全可以满足各类需求的相当丰富的库函数，而且自带集成开发调试工具，也因为功能强大而备受欢迎，当要处理结构复杂的软件时，Keil C51 软件编译产成的目标代码更加清晰易懂，并且具有结构合理且效率高这一优势。Keil C51 具有完美的编译环境和背景，Keil C51 软件的优点也显而易见，而室内空气质量监测仪的软件开发编译环境采用这款软件来实现。

4.1.2 系统框图

对于本监测仪最重要的功能就是要实时的进行监测和显示，也就要不断的采集和检测数据，然后刷新数据，进行显示，让用户能够观测到室内的空气质量情况，所以软件部分也因此分为了数据的分析处理模块和用于人机交互的显示模块两部分。主要功能有检测气体和温湿度数据，然后对数据进行处理，最后将信号转换为气体浓度进行显示。软件中包括对于数据的修正和补偿。

如同硬件根据相应的不同功能划分成不同的模块，其中软件系统框图如图 4-1 所示。

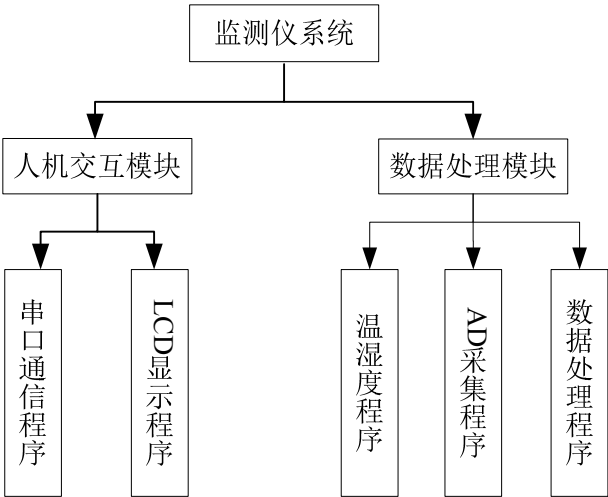


图 4-1 软件系统框图

其中数据处理模块所包括的程序有：AD 采集程序、数据处理程序、温度传感器程序等等。

用于人机交互的显示模块程序主要有：串口通信程序、LCD 显示程序，该模块主要用来实现友好的人机交互功能，使用户能够使用仪器更加的方便快捷。

4.2 系统主程序

先给系统上电，然后对系统进行初始化，设定一些标志位和定时器，然后初始化各个外设如温度传感器、时钟、串口、LCD 液晶屏等。系统初始化之后显示读取到各项气体的参数值，程序具体框图如 4-2 所示。

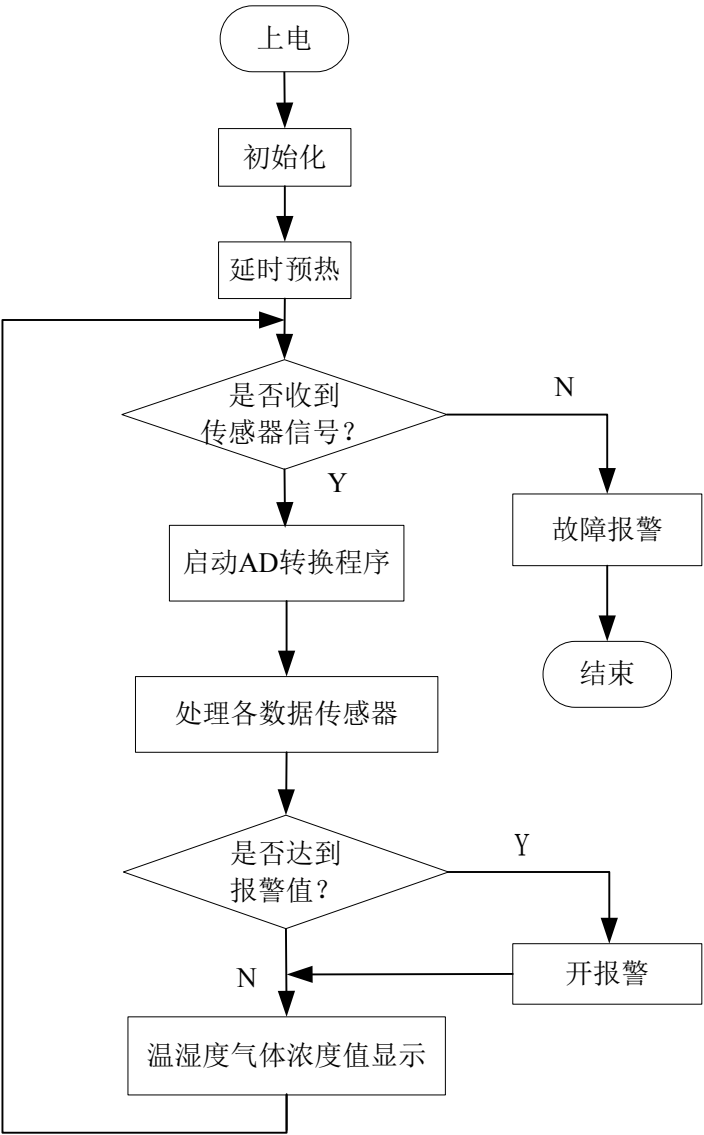


图 4-2 系统主程序

4.3 数据采集与处理模块程序设计

此模块由数据处理子程序，温湿度传感器程序，AD 采集程序等部分组成。数据采集分析和处理模块直接决定了仪器的转换速度和转换精度，是仪器十分重要的模块。

4.3.1 AD 采集程序

AD 转换采用的是 STC 单片机内部的 10 位 AD 转换，共八路，可达每秒 25 万次的高速转换。

4.3.2 数据处理子程序

因为在空气中暴露一段时间后，气体传感器会出现老化，造成一定程度的零点漂移和其他问题，都会影响传感器的标定，所以在软件中为确保转换结果的正确，会进行相应的设置来进行补偿。数据处理子程序使测量结果正确显示和存储，它能够连接 AD 转换结果和传感器得到的实际测量结果，数据处理流程图如图 4-3 所示。

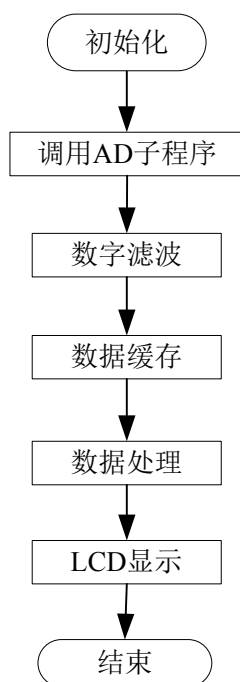


图 4-3 数据处理流程图

4.3.3 温度传感器子程序

DHT11 的供电电压是 3-5.5V。用于去耦滤波，在电源引脚（VDD，GND）之间增加一个 100nF 的电容。为跳过不稳定状态，在传感器上电后，用 1s 的时间不需发任何指令进行等候。

DHT11 的电路连接十分简单，因为它采用的引脚封装是 4 针单排，串行接口 DATA 用于和微处理器之间进行通讯和同步，每次通讯时间大约为 4 毫秒，都是以高位先出的顺序完成 40 位数据的传输。8 位湿度整数数据加上 8 位湿度小数数据加上 8 位温度整数数据加上 8 位温度小数数据加上 8 位校验和数据。数据虽然是整数部分和小数部分组成，但是用于日后扩展的小数部分现在显示的为零。校验和数据如果和前 32 位的数据的结果的末 8 位相等，那么说明数据的传送是正确的^[49]。

温湿度传感器在收到单片机所发的一次开始信号以后，便由低功耗转为高速模式，然后等待直到主机的开始信号结束，传感器发送响应信号，把测试数据的 40 位送出去，再触发一次信号采集。只有当接收到了开始信号，才会去采集温湿度的数据，假若未收到主机的开始信号，传感器就不会主动进行温湿度采集。通讯过程如图 4-4 所示。

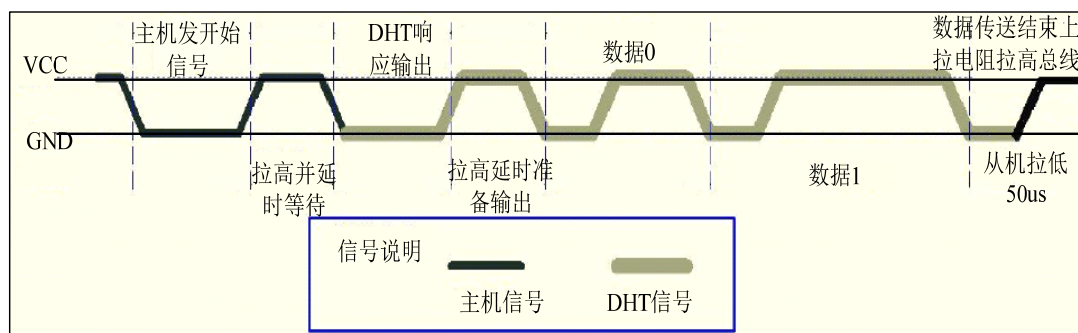


图 4-4 温湿度传感器通讯过程

时序图如图 4-4 所示，首先要读取传感器的测量数据时候，单片机把空闲状态为高电平的总线拉低至少 18ms，作为主机发送的开始信号。传感器检测到开始信号，并等待此信号结束后，发响应信号即 80us 的低电平。然后主机等待 20-40us 后，读取总线上的传感器信号，如果此时的传感器信号是高电平，说明传感器还未能响应。如果这时候总线是低电平了，那就表示传感器一切正常，并且发送了响应信号^[50]。

4.3.4 数据显示报警模块

本课题采用了 12864 点阵液晶模块。监测仪显示的内容有温湿度，和甲醛，甲烷，氨气，一氧化碳以及 PM2.5 具体的实时浓度值，定时刷新。

如果某一种气体浓度值出现了异常，便会引起报警，用户采取相应的措施，来设法降低浓度值，等待气体浓度值正常后，监测仪的界面也变回恢复。

4.3.5 软件抗干扰设计

当监测仪上电后，程序就会自动开始，但是硬件电路如果受到干扰造成异常，程序会跑飞，然后会陷入死循环。解决以上问题的最佳方案是设计看门狗^[51]，在无监管状态下使单片机连续工作。

为使结构清晰，设计软件时应用平行结构，且减少程序的嵌套，尽可能的优化中断的逻辑，对调试有很大有帮助。中断源、系统资源以及模块化的组织形式的合理分配有助于提高系统的稳定性。

4.4 本章小结

本章对室内空气质量监测仪的编译环境和编写软件进行了详细介绍，还有软件的整体设计思想和一些功能模块的具体的编写流程。以及数据收集和采集的程序的介绍。

第5章 仪器标定及示值误差分析

按照相应的检定规程，把各标准仪器测量的各传感器的浓度参数值和室内空气质量监测仪的 7 项测量参数值相比较，标定了仪器的 7 项参数。再通过对比分析，得到监测仪各参数的示值误差。

5.1 实验结果

(1) 甲醛浓度值的测量：

在温度是（10~35）℃，而且波动小于±2℃，和相对湿度≤85%RH的空气条件下，通入氮中甲醛气体标准物质，其摩尔比为 0.5μmol/mol，通过显示屏观察显示结果，重复上述测量三次，记录所测得的气体值，仪器示值取三次测量的平均值，相对示值误差是三次平均值和甲醛标准气体浓度值的差与甲醛标准气体的摩尔比值的商^[52]。由于在气体浓度较小的时候，传感器输出电流较小，这时候的测量误差相对较大，所以在浓度较低的时候测量的较多，浓度较高时测量较少。数据记录后得表 5-1。

表 5-1 甲醛气体检测结果

标准气体浓度 ppm	甲醛测量浓度 三次平均值 ppm	绝对示值误差 ppm	相对示值误差 ppm
0.50	0.48	0.02	0.1=0.02/20 *100*%
0.60	0.62	0.02	0.1
0.70	0.69	0.01	0.05
0.80	0.82	0.02	0.1
0.90	0.93	0.03	0.15
1.00	1.03	0.03	0.15
1.20	1.24	0.04	0.2
4.00	4.06	0.06	0.3
8.00	8.02	0.02	0.1
12.00	12.09	0.09	0.45

(2) CO 浓度值的测量：

JJG915 - 2008《一氧化碳检测报警器检定规程》^[53]在进行标定之前，应该先对仪器进行预热稳定，然后调整零点和示值。温度 0~40℃和相对湿度≤

85%RH的室内环境下，按次序通入 1.5 倍的仪器预设下限值，30%和 70%的仪器预设上限值的标准气体，然后记录仪器所显示的数值，重复上述方法三次，记录仪器的显示值，然后得到仪器的绝对示值误差和相对示值误差。得到数据表 5-2。

表 5-2 CO 气体检测结果

标准气体浓度 ppm	CO 测量浓度 三次平均值 ppm	绝对示值误差 ppm	相对示值误差 %F.S
0	0	0	0
10	12	2	0.2
20	21	1	0.1
30	31	1	0.1
40	42	2	0.2
50	53	3	0.3
60	62	2	0.2
70	71	1	0.1
80	83	3	0.3

(3) 可吸入颗粒浓度的测量：

JJG846 - 1993 《光散射式数字粉尘测试仪检定规程》^[54]指出，用室内空气质量监测仪和美国大气粉尘检测仪TSI8530 对空气进行抽气采样，在温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $\leq 75\%\text{RH}$ 的室内环境下，把监测仪测得值和 TSI8530 测量得到的标准浓度值比对。记录数值，把三次重复测量的平均值作为仪器的示值^[55]。可吸入颗粒物的量程是 $0.001\sim 10\text{mg}/\text{m}^3$ 。数据记录后得表 5-3。

表 5-3 可吸入颗粒检测结果

标准气体浓度 mg/m3	可吸入颗粒测量浓度三次平均值 mg/m3	绝对示值误差 mg/m3	相对示值误差 %F.S
1	1.122	0.122	1.22
2	1.917	-0.083	-0.83
3	2.893	-0.107	-1.07
4	4.012	0.012	0.12

(4) 氨气浓度的测量:

同理得到氨气的气体检测结果, 其中氨气的量程为 50ppm。如表 5-4 所示。

表 5-4 氨气检测结果

标准气体浓度 ppm	氨气测量浓度 三次平均值 ppm	绝对示值误差 ppm	相对示值误差 %F.S
0.10	0.12	0	0
0.20	0.24	0.04	0.08
0.30	0.33	0.03	0.06
0.40	0.43	0.03	0.06
0.50	0.56	0.06	0.12
0.60	0.63	0.03	0.06
0.70	0.72	0.02	0.04
0.80	0.81	0.02	0.04
0.90	0.95	0.05	0.10

(4) 甲烷浓度的测量

同理得到甲烷的气体检测结果, 其中甲烷的量程为 3%。如表 5-5 所示。

表 5-5 甲烷检测结果

标准气体浓度 %	甲烷测量浓度三次平均值 %	绝对示值误差 %	相对示值误差 %F.S
0	0	0	0
1	1.2	0.2	0.07
1.5	1.7	0.2	0.07
2	2.1	0.1	0.03
2.5	2.3	0.2	0.07

(5) 温湿度的测量:

根据 JJF1076 - 2001 《温湿度传感器校准规范》^[56]、JJG874-2007 《温湿度指示控制仪检定规程》, 对温湿度进行标定时, 下表 5-6 所示为温湿度的实验数据^[57]。

表 5-6 温湿度检测结果

湿度标准值 %RH	监测仪示值 %RH	绝对示值误差 %RH	温度标准值 ℃	监测仪示值 ℃	绝对示值误差 ℃
15.0	15.3	0.3	20	20.1	0.1
30.0	30.6	0.6	30	30.3	0.3
45.0	45.7	0.7	-	-	-
60.0	60.4	0.4	-	-	-

5.2 示值误差分析

仪器的测量误差可能由多种因素造成，可能是仪器的结构，电路设计，气温与环境因素等等。当气体浓度较小时，仪器检测结果的误差多数是由电路原因导致的，而气体浓度较大时，气体浓度检测的误差多数由非电路因素造成^[58]。

以下是可能造成气体检测误差的主要来源：

（1）因为本文使用的传感器都是河南郑州炜盛公司的电化学传感器，所以得到的传感器数据会有一些的相关性。因为传感器的性能想接近，所以组成的传感器阵列很难不产生影响，也因此会影响测试精度^[59]。

（2）电化学传感器因为其特性，对于温度、湿度、阳光也比较敏感，所以每次测量都会有较长时间，这些因素都会影响传感器的测量，所以在进行测量的时候也要考虑到这些。

（3）由于电化学传感器的特殊性，它的寿命一般只有两到三年时间，而且在空气中放置过久，会产生零点漂移，使得测量得到的数据不准。随之传感器的使用，传感器会逐渐老化，其灵敏度和准确度都会受到影响。

5.3 本章小结

本章对氨气，甲醛，一氧化碳，甲烷，可吸入颗粒物和温湿度进行了标定，根据各传感器的检定规程，检定了监测仪的示值误差，并根据得到的数据，分析了实验结果，并通过数据可以看出，实验数据的误差都在检定规程要求的范围内。

结 论

本文针对气体的浓度的实时监测与显示报警进行了深入的研究。研制了的为新型的气体监测器，可以同时实时方便的测量多种气体。可以在生活环境和工业环境中使用。查阅了大量的文献，并做了大量的实验和研究之后，设计了系统硬件和软件。所做的研究工作主要有：

（1）在气体检测方面，采用电化学甲醛气体传感器、电化学氨气气体传感器和电化学一氧化碳气体传感器，对室内环境气体进行监测。本监测仪由便携式角度出发，在硬件的设计布局和显示外形上设计的都很紧凑和简洁，以便监测仪能够小巧和轻便。

（2）设计了室内空气质量监测仪的总体设计方案，根据具体要求，总结了气体传感器的选型与标准，详细的介绍了本文所选用的电化学气体传感器。

（3）设计了室内环境气体浓度监测仪的硬件电路，主要有气体传感器处理电路模块，数据采集与处理模块，LCD12864 液晶显示模块，控制器电路模块，电源模块等部分。

（4）根据室内空气质量检测标准，以及监测仪的总体设计方案和硬件电路的设计，对监测仪的各个模块进行了软件的设计。

（5）在调制好的样本气体内对监测仪样机进行检测，在标准气体下检测到的气体值，表明仪器的误差小于 0.5ppm，并且分析了误差的原因，并且设计的电路和其他的原因对监测仪的误差造成影响。

由于不断向前发展的科技，为了更加适应时代需求，在充分利用科技的前提下，不断的对产品改型换代。本课题目前的研究工作取得了一定的成绩，符合目前的室内空气质量标准的要求精度和范围，达到了预期的设计目标。本监测仪可以对生活和生产的环境进行气体浓度的检测，使得仪器具有了更高的实际和应用的价值。为了使仪器进一步的完善，还有很多后续工作需要完成，需要进一步修正监测仪的数据，硬件电路的设计可以再优化一下，减小误差等等。所以后续还有许多需要改进和完善的地方。

参考文献

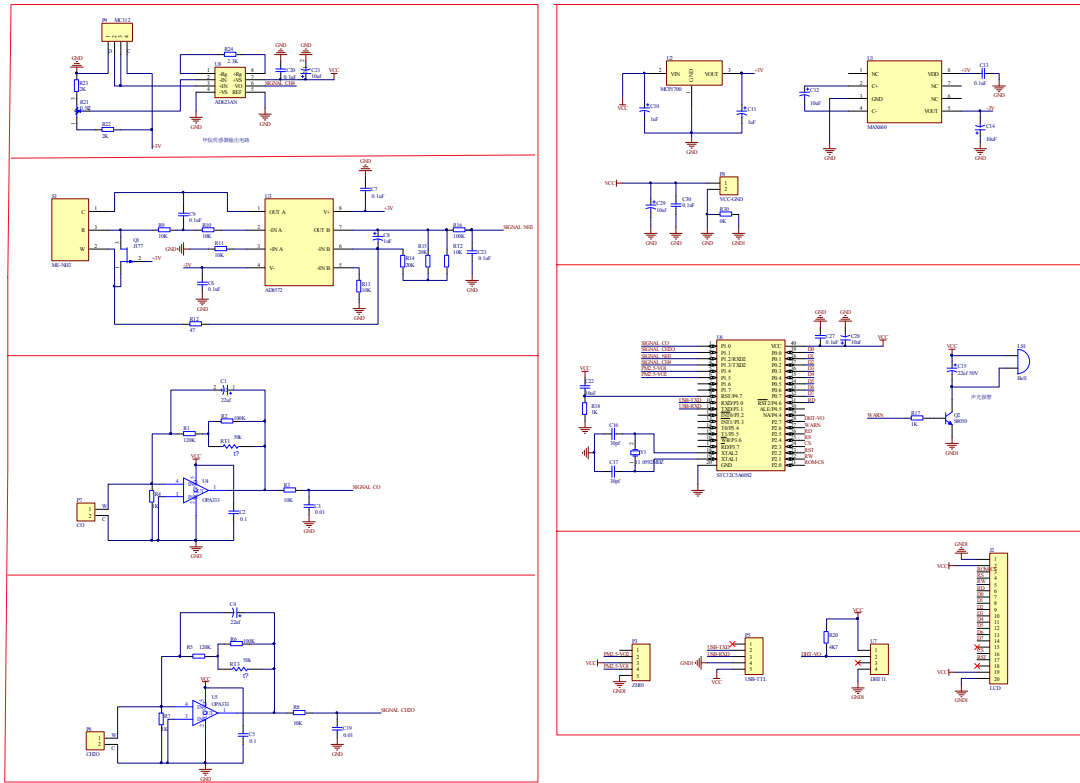
- [1] 王昭俊, 刘加宁, 刘京. 室内空气环境[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006, 3-10.
- [2] 崔九思. 室内空气污染监测方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002, 1-110.
- [3] Tucker WG. Characterizing Emissions and Health Effects of Sources of Indoor Air Contaminants[J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 1992, 641(12): 1-6.
- [4] 周继. 室内环境监测与治理前景分析[J]. 山西建筑, 2010, 36(21): 355-356.
- [5] Building Research Establishment(BRE). NatVent-CD-Rom, 1999.
- [6] 裴志刚, 朱立. 室内装修甲醛的危害及测量方法[J]. 实验技术与管理, 2005, 22 (6): 127.
- [7] 温卫敏. 室内有毒气体监测系统研制[D]. 西安科技大学, 2008, 30-32.
- [8] 陈永亮. 浅谈室内装修污染及其防治[J]. 环保技术, 2006, 20-24.
- [9] 吴慧山, 韩耀照, 郭东发. 室内装修要警惕氡、甲醛、苯等危害[M]. 北京: 原子能出版社, 2000.
- [10] 李佳. 适合中国北方寒冷地区的建筑绿化设计[D]. 天津大学, 2007, 56-60.
- [11] Baratto C, Comini E, Faglia G, et al. Gas detection with porous based sensor. Sensors and Actuators, 2000, 65:257-259.
- [12] Lai JHK, Yik FWH. Perception of importance and performance of the indoor environment quality of hig-rise residential buildings [J]. Building and environment, 2009, 44(2): 352-360.
- [13] Lai ACK, Mui KW, Wong LT, et al. An evaluation model for indoor environment quality acceptance in residential building [J]. Energy and Building, 2009, 41(9): 930-936.
- [14] 刘义和. 室内环境检测存在的问题及防治对策探析[J]. 科学之友,

- 2010, 10(5): 140-141.
- [15] http://www.morechina.com.cn/products_details/Gas_meter/ESC_index.htm.
- [16] 裴志刚, 朱立. 室内装修甲醛的危害及测量方法[J]. 实验技术与管理, 2005, 22 (6): 127-128.
- [17] Khoder MI, Shakour AA, Farag SA, et al. Indoor and outdoor formaldehyde concentrations in homes in residential areas in Greater cairo. Jenviron Monit, 2000, 2(2): 123-126.
- [18] 刘建国, 刘文清, 魏庆农. 我国的环境监测仪器产业状况及监测高技术创新的研究[J]. 光电子技术与信息, 2002, 15(2): 14-18.
- [19] 汪志国, 齐文启. 环境监测仪器发展现状与趋势分析[J]. 现代科学仪器, 2007, 9(4): 32-35.
- [20] 沈晋明. 室内空气品质的评价[J]. 暖通空调, 1997, 27(4): 22-25.
- [21] 刘崇进, 郑大昉. 气体传感器的发展概况和发展方向. 计算机测量与控制, 1997, 7(2): 54-56.
- [22] 王英臣. 基于主成分分析和人工神经网络的酒类辨识[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2009, 02: 82-85.
- [23] G.B. Leslie. Indoor Air Problems in Asia, Indoor and Built Environment, 1995, 4, 140-150.
- [24] 朱天乐, 郝吉明, 周中平, 王延吉. 我国室内空气污染现状、成因与对策[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 10: 14-18.
- [25] 王卫, 于雷, 李振东, 张波, 孙敬东, 张文彩. 新型空气净化器的研制与应用[J]. 医疗卫生装备, 2000, 03: 6-8.
- [26] http://www.meter18.com/meter18_article_9178.html
- [27] 王磊. 基于气体传感器阵列的挥发性有毒气体检测[D]. 中国科学技术大学, 2008.
- [28] 刘畅生. 传感器简明手册及应用电路[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005.
- [29] Julian W, Gardner, Philip N. A brief history of electronic noses. Sensors and Actuators, 1994, (18): 211-220.
- [30] N.Yamazoe, N.Miura . Development of gas sensors for environmental protection. IEEE Trans. 1995, (18): 252-256.

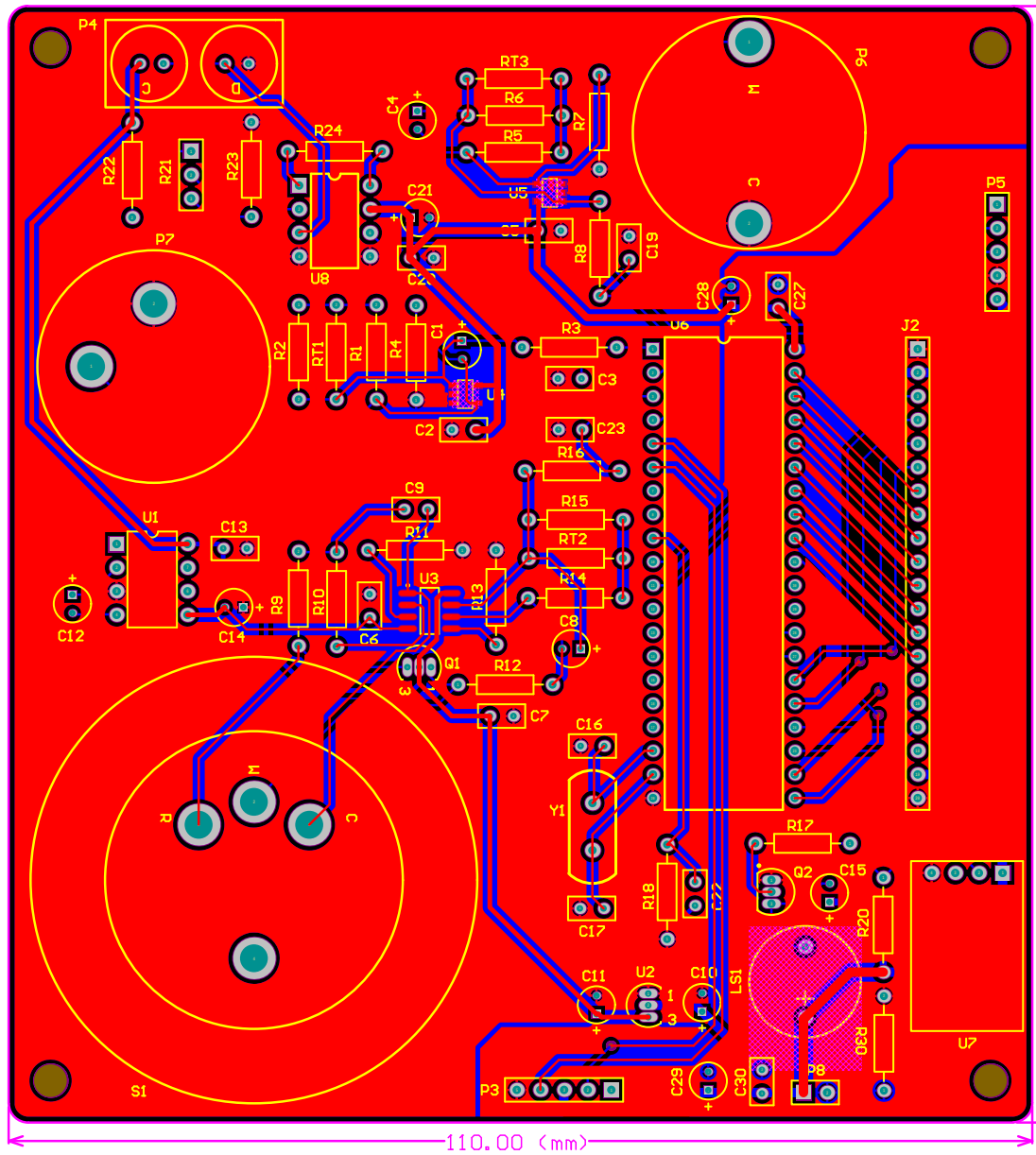
- [31] 陈长伦, 何建波, 刘伟, 刘锦淮. 电化学式气体传感器的研究进展[J]. 传感器世界, 2004, 6.
- [32] Kumar A., Singh I.P., Sud S.K.. Energy Efficient and Low-Cost Indoor Environment Monitoring System Based on The IEEE 1451 Standard[J]. Sensors Journal, 2011, 11(10): 2598-2610.
- [33] 崔九思. 室内空气污染监测方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002, 305-394.
- [34] Koji Kawamura, Kagan Kerman, Mikiro Fujihara, et al. Development of a novel hand-held formaldehyde gas sensor for the rapid detection of sick building syndrome[J].
- [35] K.kawamura, K.Kerman, M.Fujihara, N.Nagatani, E.Tamiya. Development of a novel hand-held formaldehyde gas sensor for the rapid detection of sick building syndrome. Sensor Actuators B, 2005, 105(2): 495-501.
- [36] Lee Chia-yen, Chiang Che-ming, Wang Yu-hsiang, et al. A self-heating gas sensor with integrated NiO thin-film for formaldehyde detection[J]. Sensor and Actuators B, 2007(122): 503-5.
- [37] N.Yamazoe, N.Miura. Development of gas sensors for environmental protection. Components, Packing and Manufacturing Technology A, 1998, 18(6): 252~253.
- [38] 刘畅生. 传感器简明手册及应用电路. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005: 30-31.
- [39] 杨邦朝, 段建华. 一氧化碳传感器的应用与进展[J]. 传感器技术, 2001, 20(12): 1-4.
- [40] 杨发盛. 基于接触燃烧式 CH₄ 传感器的报警器研制[D]. 吉林大学, 2013: 100-110.
- [41] 周安. 电化学气体传感器工作电路的设计[J]. 首都师范大学学报, 1997, 18: 134-135.
- [42] Koji Kawamura, Kagan Kerman, Mikiro Fujihara, et al. Development of a novel hand-held formaldehyde gas sensor for the rapid detection of sick building syndrome[J]. Sensor and Actuators B, 2005(105): 495-501.

- [43] 张维. 一种高精度信号处理电路. 自动化仪表, 2001, 70(12): 7-8
- [44] 何希才, 依兵. 新型实用电子电路 400 例. 电子工业出版社, 1998: 83-84.
- [45] 赵继文, 何玉彬. 传感器与应用电路设计[M]. 北京: 科学出版社, 2002, 9.
- [46] 赵建, 薛圆圆. 51 单片机开发与应用技术详解. 北京: 电子工业出版社, 2004, 245-246.
- [47] Mike Magdaluyo. Useful Tips Ease Interfacing of Logic Devices in Mixed 3V and 5V Systems. Electronic Design. 2000, 58(6): 7~10.
- [48] 张孟秋. 船舶电站管理显示单元的设计与实现[D]. 大连海事大学, 2010.
- [49] 张冬林, 李鑫, 戴梅等. 基于 DHT11 的低成本蚕室温湿度自动控制系统的设计[J]. 现代农业科技, 2010, (18): 14-15.
- [50] 倪天龙. 单总线传感器 DHT11 在温湿度测控中的应用[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2010, 06: 60-62.
- [51] 耿凡娜, 张富庆. 单片机应用系统设计中的看门狗技术研究[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(13): 3269-3271.
- [52] 齐燕岭, 侯晓东, 白旭, 赵立. 甲醛气体检测仪相对示值误差测量的不确定度评定[J]. 工业计量, 2013, 05:51-53.
- [53] JJG 915-2008.一氧化碳检测报警器国家计量检定规程[s]. 北京: 中国计量出版社, 2009.
- [54] JJG846- 1993, 光散式数字粉尘测试仪[S]. 北京: 中国计量出版社, 1993, 8.
- [55] 金美兰, 赵建南. 标准气体及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003, 1-235.
- [56] JJF1076-2001, 湿度传感器校准规范[S].
- [57] Shen JM: Fresh air and indoor air quality: International Symposium on Indoor Air Quality in Asia 1994.
- [58] 黄薇. 室内空气中甲醛污染控制研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2007.
- [59] 潘天红, 赵德安, 邹小波. 气体传感器阵列中的信息融合. 计算机测量与控制, 2003, (10): 1-3.

附录



室内空气质量监测仪的原理图

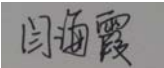


室内空气质量监测仪的 PCB 图

哈尔滨工业大学学位论文原创性声明和使用权限

学位论文原创性声明

本人郑重声明：此处所提交的学位论文《室内空气质量监测仪》，是本人在导师指导下，在哈尔滨工业大学攻读学位期间独立进行研究工作所取得的成果，且学位论文中除已标注引用文献的部分外不包含他人完成或已发表的研究成果。对本学位论文的研究工作做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式注明。

作者签名：  日期：2014 年 6 月 30 日

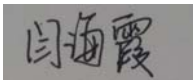
学位论文使用权限

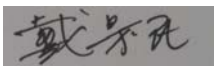
学位论文是研究生在哈尔滨工业大学攻读学位期间完成的成果，知识产权归属哈尔滨工业大学。学位论文的使用权限如下：

(1) 学校可以采用影印、缩印或其他复制手段保存研究生上交的学位论文，并向国家图书馆报送学位论文；(2) 学校可以将学位论文部分或全部内容编入有关数据库进行检索和提供相应阅览服务；(3) 研究生毕业后发表与此学位论文研究成果相关的学术论文和其他成果时，应征得导师同意，且第一署名单位为哈尔滨工业大学。

保密论文在保密期内遵守有关保密规定，解密后适用于此使用权限规定。

本人知悉学位论文的使用权限，并将遵守有关规定。

作者签名：  日期：2014 年 6 月 30 日

导师签名：  日期：2014 年 6 月 30 日

致 谢

首先我由衷的感谢我的导师戴景民教授，在这两年多的相处和学习中，我的收获相比人生中的任何时段都无可比拟，老师在学习上的指导，在生活中的帮助，在遇到人生困惑时候给与的关心，让我的研究生生活变得更加的顺畅和丰富多彩。戴老师的渊博学识，丰富的经验，踏实认真的工作态度，严谨的治学态度和高尚的人格，在潜移默化和耳濡目染中，不断的影响着我，是我不断进步，受益匪浅。在戴老师的指导下，我不仅顺利的完成这篇论文和项目，还学习到了从事科研工作的精神，再次表达对老师的敬意和感谢之情。

其次我要感谢潘卫东、张宇峰、张磊、王勇等几位师兄在我研究生生涯中给与的帮助和关心，在项目研究和学术方面的毫无保留的指导和分享的经验，以及对我的不足之处提出的宝贵的建议。还要感谢和我一同奋战的伙伴们，他们是荆游，原亮同学，在这两年的时间中的陪伴和学术讨论。在实验室里留下的欢声笑语和美好时光。还有师弟师妹们，他们是朱程宏、王一乔、郭晓满，与你们在一起的这一年多，我学到了很多，你们的青春气息时刻感染着我。朱程宏师弟在实验中的严谨和认真，踏实和勤奋都让我受益良多。

还要感谢我的室友，王晶、王盼盼和田思思同学，在生活中的照顾和包容，她们的活泼开朗，细心关怀和两年的陪伴，让我的研究生生活更加快乐，和她们在一起的这段时光我将会永远铭记。

最后，要感谢我的父母，他们对我的爱，是我前进和努力的方向，我因为他们而变得更快乐，更幸福，更加知道满足和包容。感谢所有帮助、关心、支持我的亲人和朋友，向你们致以深深的谢意。