

大气环境污染物监测系统整体设计及主要技术分析

邹杨 谭云飞

工程质量监督站

摘要: 大气环境污染对人的健康造成不可逆的伤害, 并影响地球生物圈的可持续发展。中国政府高度重视这个问题, 并出台了許多相关政策文件以指导大气污染的治理工作。实时在线监测大气污染物是防治大气污染的一个重要手段, 可以为政府和公众提供有关大气污染情况的重要数据和信息。因此, 开展该领域的研究对于保护环境和人民健康具有巨大的实践意义。

关键词: 大气环境监测; 系统设计; 支撑技术

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2022.02.244

一、引言

历史上, 大气环境污染已经导致了許多严重的健康问题和环境问题, 给人的生存环境造成不利的影 响。然而, 这些事件不仅是历史上的事情, 而今天, 大气环境污染仍然是全球面临的重要问题之一。尽管各国政府已经采取了许多措施来控制和减轻污染, 但是仍有很多工作要做, 以确保我们的大气环境能够持续健康和安 全, 为人类和我们的星球做出贡献。20世纪30年代初, 由于毒气泄漏, 虽然比利时政府采取了相关措施, 但也导致了上万人的呼吸道出现不同程度的疾病; 19世纪50年代, 英国伦敦烟雾事件致使接近5000人丧失生命。大气环境治理是当前我国面临的重要问题之一, 为有效解决这一问题, 我国政府自2012年出台了一系列政策性文件关于大气环境的污染预防和防治, 以CO、NO₂、PM2.5、PM10作为监测指标, 并结合已有的监测手段, 是一种非常可行的方法, 可以为大气环境污染的预防和治理提供有力的参考标准。

二、系统需求分析

为了更好地实现对大气环境的监测, 本系统确实需要满足多种要求, 如支持多种目标污染物的监测、具备数据“上云”功能、采用合适的数据处理方法以提高监测精度、智能化的设计方案等等。同时, 监测节点还需满足一定的环境要求, 如适宜的温度和湿度范围, 以及能够监测到特定污染物的浓度范围。为达到这些要求, 设计可靠、高效的监测系统需要兼顾硬件设备和软件算法两个方面, 同时需要进行全面的系统优化以提高实时性及易扩展性。希望我们能够共同为环境监测与保护作出贡献。

对于大气环境中污染物的分布情况进行监测, 需要合理布置监测节点, 以保证对污染物的全面监测。在单个节点的设计上, 需要采用智能化和节能的方案, 并保证监测指标的满足, 这可以从硬件设备、传感器选择、数据格式等方面进行优化。同时, 节点需要采用合适的程序设计方式, 实现高实时性和易扩展性, 这可以考虑使用先进的传输协议和算法优化, 以保证数据传输和处

理的效率和准确性。总之, 监测系统的设计需要兼顾多个方面, 同时需要进行整体优化, 以确保系统的稳定性、可靠性和高效性。

除此之外还需满足以下指标, 温度: -30℃~50℃, 湿度: 0-80%RH, PM2.5: 0-300ug/m³, PM10: 0-400ug/m³, NO₂: 0-15ppm, CO: 0-20ppm。

三、系统方案设计

基于“物联网+”的大气环境监测系统, 通过构建感知层、网络层和应用层, 实现了大气环境参数的监测、数据的存储和管理、事件的预警和控制等功能。其中, 感知层是实现监测的关键部分, 通过不同的传感器组成的监测节点来测量大气环境的多种参数, 确保系统的监测精度和全面性。在监测节点的设计上, 需要充分考虑硬件选型、传感器性能、数据传输等方面, 以保证节点的功能性和可靠性。同时, 在网络层和应用层的设计上, 需要采用先进的技术和算法, 实现数据的高效传输和处理, 以及数据可视化和预警等功能。总之, 大气环境监测系统是一个综合性的系统工程, 需要用到跨学科的理论知识和应用技术, 在实际应用中需要充分考虑实际情况, 进行全面的系统优化和调试, 以保证系统的稳定性和可靠性。

本文经过需求分析, 设计了可同时监测NO₂、CO、温度、湿度、PM2.5和PM10等6个环境参数的监测节点, 并且按照设计需求, 该监测节点的功能结构如图1所示。

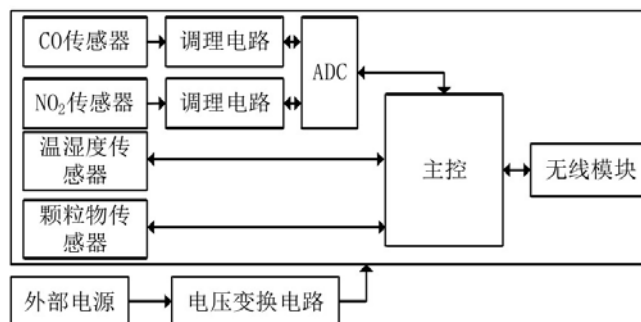


图1 监测节点功能结构图

NO₂/CO传感器输出需要经过外围调理电路送至ADC, 确保数据的准确性和精度。无线通信单元则实现了监测节点与云平台的通信, 实现传感器数据的接收和控制信号的发送。主控单元是监测节点的核心部分, 基于高性能MCU构成, 负责数据处理、算法实现、浓度估计等功能。通过一个完整的硬件系统和软件算法实现, 监测节点可以实现全方面的大气环境监测, 为环保和健康提供重要的技术支持。

四、系统主要技术分析

(一) 嵌入式实时操作系统技术

相比传统的裸机编程, 基于嵌入式实时操作系统(RTOS)的编程方式确实提供了更高的实时性和可靠性, 同时也更易于后续的扩展和管理。在本文中, 采用嵌入式实时操作系统进行多任务编程是非常明智的选择, 因为这样可以在保证实时性的同时, 兼顾系统的可扩展性和可维护性。 μ C/OS系列操作系统有着悠久的发展历史和高度认证的安全性, 因此在室外应用的大气环境监测系统中使用它是较为理想的选择。毕竟, 监测节点的稳定性和运行的可靠性对于系统的实时性和数据精度至关重要, 所以选择可靠的操作系统是非常关键的。

对于任务同步或任务间通信, 任务信号量与任务消息队列确实是更为便捷的选择。在 μ C/OS-III系统中, 任务邮箱实际上就是一个长度为1的任务消息队列, 因此去除了任务邮箱功能。而释放时间戳的功能可以帮助后期的程序调试和代码优化, 特别是在系统性能和响应时间方面。因此, 选择 μ C/OS-III系统可以提高开发的效率和代码的优化程度。在开发过程中, 需要充分利用 μ C/OS-III系统的特性和功能, 进行充分的优化和调试, 以确保系统的稳定性和可靠性。

在嵌入式系统开发中, 内存资源非常有限, 因此需要进行系统裁剪, 以减小内存消耗。 μ C/OS-III系统内核可以根据实际需要编辑其配置文件, 以实现系统的裁剪和优化。

(二) 系统网络层开发技术

随着物联网和云计算技术的快速发展, 物联网应用的开发变得越来越简单和方便。对于开发者来说, 选择自建私有物联网平台或采用商业化的物联网平台进行二次开发, 是一个需要仔细权衡的决策。考虑到本文研究的重点在于监测节点的设计, 使用现有的商业物联网平台进行二次开发可以降低开发成本、提高开发速度, 并且可靠性更高。目前市面上有很多成熟的物联网平台, 包括腾讯、阿里、百度、华为等公司的平台, 这些平台都已经成型, 并且具有高集成性和易于二次开发的特点。综合考虑各种因素, 选择使用商业化的物联网平台

进行二次开发可以更加高效和可靠地完成监测节点的设计和开发工作。

(三) 系统感知层监测节点组网技术

在不同的应用场景下, 不同的组网方式各有其优劣, 需要综合考虑多种因素来确定最适合的组网方式。目前, 设备的组网方式可以分为无线组网和有线/有限组网。对于监测节点这种需要与云端进行长距离、低功耗、低成本通信的设备, 无线连接方式组网是更为适合的选择。而NB-IOT技术作为一种专门针对物联网应用设计的新型无线通信技术, 具有低功耗、低成本、大容量等优点, 在物联网应用中得到了广泛应用。在本文中, 采用NB-IOT技术进行无线连接方式组网, 这是非常明智的选择, 因为这可以实现与云端的高效通信, 并确保节点的长期稳定运行。

五、感知层监测节点主要器件选型

(一) 主控芯片选型

STM32F103ZET6是意法半导体公司生产的一款32位高性能低功耗单片机, 具有丰富的片上资源和稳定的性能, 已经在仪器仪表及智能物联网终端行业得到了广泛的应用。在本文的需求分析中, 选择STM32作为主控芯片具有多方面的优势, 如高性能、低功耗、丰富的资源和稳定的性能等。此外, STM32芯片厂家提供了丰富的固件库, 可以大大节约开发时间, 并且支持运行多种嵌入式实时操作系统, 可以更加灵活地进行开发和优化。综合来看, 选择STM32F103ZET6作为监测节点的主控芯片是非常明智的选择, 能够满足监测节点的性能和功能需求, 并且能够提高开发效率和可靠性。

(二) NO₂/CO传感器选型

目前用于监测有毒有害气体的气体传感器一般分为电化学类型和半导体类型这两种。在半导体类型的气体传感器中, TGS系列气体传感器是经典的代表之一, 其测试电路如图5-1所示, VC代表电路电压, VH则代表加热器电压。当传感器受到电源供电时, 加热电阻RH能够迅速将敏感电阻RS加热到数百摄氏度。RS的电阻值与敏感材料中自由电子的数量相关, 当目标气体不存在于传感器周围时, 空气中的氧气会捕获敏感材料中的自由电子, 使得RS的电阻值上升。反之, 当被监测的气体与敏感材料发生反应时, 敏感材料中自由电子的数目会增加, RS的电阻值会下降。

在测试电路中, 串入了负载电阻RL, 在VC和VH固定的情况下, 当敏感电阻RS发生变化时, 输出电压VOUT也会发生变化。我们可以根据测试电路的原理进行分析, 推导出计算RS的公式。由于VOUT和RS之间存在一定的函数关系, 可以采用欧姆定律和电压分压原理, 利用测试电路中的电压及电流值来计算RS的值, 计算公式如下:

$$R_s = \frac{V_c - V_{OUT}}{V_{OUT}} \times R_L \quad (1)$$

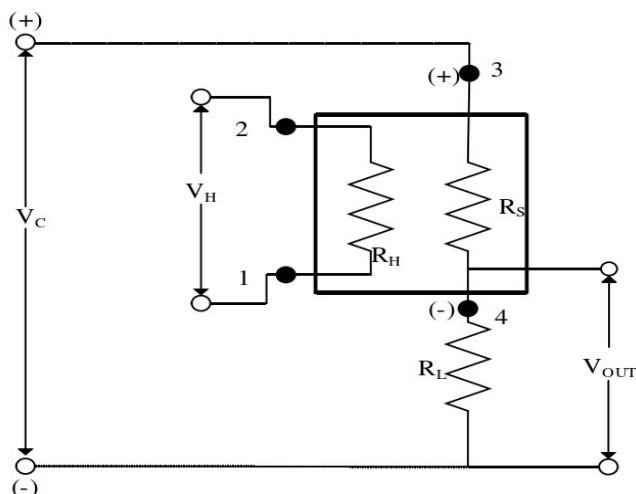


图5-1 半导体气体传感器基本测试电路图

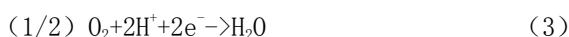
在标准测试条件下（即敏感材料处于一种特定的参考气体中），敏感电阻值RS被定义为R0。当传感器处于某种气体中时，通过比较RS和R0的比值，结合数据手册中的校准曲线，可以计算出当前环境中目标气体的浓度。但是，半导体气体传感器的响应不仅限于特定的气体，还会受到其他气体和环境参数的影响，因此需要采用合适的数据处理方法来提升测量精度，例如基于计算机算法的信号处理和校准技术。

以三电极CO电化学传感器为例，具体工作过程如下：

在WE电极上，CO与水通过疏水薄膜结合，CO失去电子，引发了氧化反应。该反应产生的电流与CO浓度成正比。参考电极（RE）的作用在于提供一个静电平衡参考电位，而对电极（CE）则通常用于提供强电化学反应和控制离子浓度。通过从工作电极、参考电极和对电极读取电压，电化学传感器可以测量特定气体的浓度，同时可以提供可靠的稳定性和准确性。



当存在外部电路时，根据电化学传感器的工作原理，电子将从WE（工作电极）流向CE（对电极），电流则从CE流向WE。在电化学传感器内部，H⁺离子从WE经过电极液流向CE。在CE端，氧气得到电子，发生还原反应。这个还原反应会使电流增大，电流量与目标气体的浓度成正比，因此可以通过测量传感器产生的电流量来推测目标气体浓度。



综合式（1）和式（3）可得：



（三）NO₂/CO气体传感器外围电路器件选型

为使电化学传感器能够正常工作，需要保持电极之间恒定的电势差，这通常需要使用恒电位电路来实现。对于两电极电化学传感器，需要维持其工作电势差为固定值，而对于三电极电化学传感器，则需要维持其工作电势差为另一个固定值。当传感器周围存在目标气体时，电化学传感器将产生输出电流，然后通过跨阻运算放大器进行放大和I/V转换，在此过程中将电流信号转换为电压信号。接着，通过ADC将模拟电压信号转换为数字信号，以便主控芯片对其进行处理。这样就能够获取到适当的传感器输出信号，以满足监测节点的需求。因此，在设计电化学传感器调理电路时，需要考虑如何提高电路的通用性，以适应不同类型的传感器，从而提高开发效率并节省资源。

六、结束语

通过本文的系统需求分析和系统方案设计，我们已经初步确定了监测节点的结构和功能，同时在系统开发中选择了适当的技术和工具。这些技术包括嵌入式实时操作系统技术、网络层开发技术、节点组网技术等，这些技术的选择将帮助我们更有效地实现监测节点的功能要求。此外，我们也对监测节点的主要器件进行了选型，确保了设备的高性能和稳定性。总之，本文的研究对于实际监测大气环境的污染物具有较高的实用价值，将有助于监测人员更加准确地收集大气污染数据，并进一步提高监测工作的效率和准确性。

参考文献

- [1] 王旭红, 贾琛兰, 翟力军, 张冬生, 陈旭东. 复印作业场所臭氧、氮氧化物危害的研究[J]. 中国预防医学杂志, 2001 (03): 43-45.
- [2] 姬学斌. 美国洛杉矶烟雾治理中多元主体合作治理经验分析[D]. 北京林业大学, 2017.
- [3] 郭伟, 余华芬, 黄国栋. 基于无人机的PM_{2.5}监测技术研究[J]. 测绘通报, 2017 (S1): 147-151.
- [4] 崔诗悦, 袁聚祥. 钢厂工人一氧化碳累积暴露与高血压患病的关系研究[J]. 中国慢性病预防与控制, 2020.
- [5] 孙浩然. 基于紫外LED调制的宽光谱SO₂检测仪的设计开发[D]. 山东大学, 2021.
- [6] 牛建军, 高冠龙. 太原市近5年环境空气污染物浓度变化与趋势分析[J]. 西北师范大学学报: 自然科学版, 2021, 57 (5): 8.