

# 卷烟生产过程中水分仪实时监测与预警系统开发

王海峰

江西中烟工业有限责任公司南昌卷烟厂, 江西 南昌 330000

**摘 要：** 本研究针对卷烟生产的水分控制需求，开发了水分仪实时监测与预警系统。文中确立了水分控制在卷烟生产中的重要性，分析了水分仪监测技术的现状、发展方向及技术挑战。进行了系统的需求分析与设计，涵盖功能性能需求、架构模块划分，并探讨了关键技术。详细阐述了系统硬件与软件的实现流程，并提出了性能优化策略。研究以预警系统的构建与实现为核心，包括理论、模型、算法及性能评估。研究成果为卷烟生产企业提供了一套高效稳定的水分控制方案，有效提升了卷烟生产质量。

**关 键 词：** 卷烟生产；水分控制；实时监测；预警系统；系统开发

## Development of Real time Monitoring and Early Warning System for Moisture Meter in Cigarette Production Process

Wang Haifeng

Jiangxi Tobacco Industry Co., Ltd. Nanchang Cigarette Factory, Nanchang, Jiangxi 330000

**Abstract：** This study developed a real-time monitoring and warning system for moisture meters to meet the demand for moisture control in cigarette production. The article establishes the importance of moisture control in cigarette production, analyzes the current status, development direction, and technical challenges of moisture meter monitoring technology. We conducted a system requirements analysis and design, covering functional performance requirements, architecture module division, and explored key technologies. Detailed explanation of the implementation process of system hardware and software, and proposed performance optimization strategies. The research focuses on the construction and implementation of early warning systems, including theory, models, algorithms, and performance evaluation. The research results provide an efficient and stable moisture control scheme for cigarette production enterprises, effectively improving the quality of cigarette production.

**Keywords：** cigarette production; moisture control; real time monitoring; early warning system; system development

## 引言

在卷烟制造业中，水分管理是一个至关重要的环节，它直接关系到产品的最终品质和市场竞争力。随着工业自动化技术的不断进步，传统的手工水分检测方法已无法满足现代卷烟生产的高效率和质量要求。因此，开发一套能够实时监测并预警的水分仪系统，对于提升卷烟生产的自动化和智能化水平具有重要意义。

## 一、卷烟生产中水分控制的理论与技术基础

在深入探讨卷烟生产过程中水分仪实时监测与预警系统的开发之前，必须理解卷烟生产流程及其水分控制的重要性，为系统开发的后续工作提供坚实的理论和技術基础。

### （一）卷烟生产流程及其水分控制的重要性

卷烟生产流程是一个复杂且精密的过程，从原料的制备到成品的产出，每一个环节都对最终产品的质量有着至关重要的影响。在整个生产流程当中，水分测量仪主要负责各工序中烟叶或烟丝水分的测量，相关工序根据水分仪所测得的水分含量来控制

加水或加蒸汽量，以使物料含水率符合工艺要求；蒸汽和水系统负责根据相关测量设备的反馈信息控制物料温度、湿度等工艺指标；而加香加料系统主要负责按照物料流量，对烟叶或烟丝喷洒固定比例的香料液，以祛除烟叶杂气，增加烟丝香气<sup>[1]</sup>。

### （二）水分仪监测技术原理与发展趋势

水分仪监测技术是基于物理或化学原理，通过检测卷烟材料中的水分含量，实现对生产过程中水分的精确测量。这一技术经历了从传统的重量法、容量法到现代的微波法、红外法等的发展，其趋势是向更高精度、更快响应和更易集成的方向发展。随着传感器技术的进步和数据处理算法的优化，水分仪监测技术在

实时性和可靠性方面取得了显著提升。

### （三）卷烟生产中水分控制的关键技术问题

然而，卷烟生产中的水分控制面临着系列关键技术问题。卷烟材料的多孔性和不均匀性带来了水分分布均匀性控制的难题<sup>[2]</sup>。同时，生产线上设备的快速运转要求水分仪必须具备高效的响应能力，以便实时对水分含量进行调整。此外，如何提高水分仪在复杂生产环境中的稳定性和抗干扰能力，以及如何实现数据的准确采集和处理，都是亟待解决的技术难题。这些问题的解决，将直接推动卷烟生产过程中水分控制技术的进步，为提升产品质量和生产效率提供有力保障。

## 二、水分仪实时监测系统需求分析与设计

在明确了卷烟生产中水分控制的理论与技术基础之后，本章将转向水分仪实时监测系统的需求分析与设计。

### （一）系统功能需求分析

系统功能需求分析是开发过程中的首要环节，它旨在明确系统应具备的基本功能，以适应卷烟生产环境的特定需求。这些功能包括但不限于实时数据采集、水分含量计算、异常情况预警、历史数据存储与查询以及用户界面友好操作等<sup>[3]</sup>。通过对生产流程的深入理解，本系统需确保能够实时监测水分变化，并在检测到异常时迅速做出响应，从而保障生产过程的连续性和产品质量的稳定性。

### （二）系统性能需求分析

系统性能需求分析则侧重于系统在实际运行中的表现，包括响应时间、测量精度、系统稳定性、数据传输效率等。这些性能指标直接关系到系统在实际生产中的应用效果，因此，必须对系统的性能进行严格的要求和评估<sup>[4]</sup>。例如，系统需在毫秒级时间内完成数据采集与处理，以适应高速生产线的需求；同时，测量精度需达到行业规定的标准，以确保水分控制的准确性。

### （三）系统架构设计与模块划分

系统架构设计遵循模块化、可扩展和易于维护的原则，确保各模块之间既能独立运作，又能协同工作，以提高系统的整体效率和可靠性。模块划分将包括数据采集模块、数据处理模块、预警模块、通信模块和人机交互模块等，每个模块都有其明确的功能和性能要求。

### （四）系统关键技术研究

系统关键技术研究是系统设计中的核心内容，它涉及传感器选型、信号处理算法、数据传输机制、预警逻辑设计等方面。传感器选型需要综合考虑测量范围、精度、响应时间和环境适应性等因素；信号处理算法则需针对卷烟生产环境中的噪声和干扰进行优化<sup>[5]</sup>；数据传输机制要确保数据的实时性和完整性；预警逻辑设计则需要根据生产实际制定合理的预警标准和响应策略。这些关键技术的深入研究，将为系统的成功开发奠定坚实的基础。

## 三、水分仪实时监测系统的硬件与软件实现

在完成了水分仪实时监测系统的需求分析与设计之后，本章

节将着重探讨系统的硬件与软件实现。这一阶段是系统从理论走向实践的关键步骤。

### （一）硬件系统设计与选型

在构建水分仪实时监测系统的硬件平台时，选用 Omega HS-50R 型电容式水分传感器，具备 0.01% 的体积水分分辨率和快速响应特性，适应卷烟生产线的高速测量需求。结合 National Instruments PCI-6221 数据采集卡的高采样速率，确保数据实时性与精确度<sup>[6]</sup>。核心处理单元搭载德州仪器 AM3359 ARM Cortex-A8 处理器，高效执行数据采集、处理及预警逻辑。通信模块内置 Broadcom BCM57765 芯片，提供可靠的以太网和 RS-485 接口，实现高效数据传输。操作界面配备西门子 TP177B 工业级触摸屏，实现直观监控。电源系统采用 Mean Well RS-25-5 高效率开关电源模块，确保电源稳定与安全。整体硬件设计符合系统对高精度、快速响应和稳定性的严格标准。

### （二）软件系统设计与开发

在水分仪实时监测系统的软件设计与开发过程中，采用 Microsoft Visual Studio 集成开发环境和 C++ 编程语言，以利用其高效的执行速度和数据处理能力，确保系统实时性能。数据处理方面，结合卡尔曼滤波和最小二乘法构建专用水分含量计算模型，提高测量精度。用户界面通过 Qt 框架实现跨平台直观操作，通信协议基于 TCP/IP，利用 Boost.Asio 库优化网络通信。数据库管理选用 SQLite，结合自定义 DAO 高效处理历史数据<sup>[7]</sup>。软件集成用户权限管理和 AES 数据加密，提升系统安全性。软件设计全面考虑数据处理、算法实现、用户交互和通信安全，保障系统的高效稳定运行。

### （三）系统集成与调试

在集成与调试水分仪实时监测系统过程中，首先完成硬件组件的物理连接，包括传感器、数据采集卡、触摸屏显示器等关键部件，并采用标准连接器以保证信号传输的稳定性。接着，利用 National Instruments 的 LabVIEW API 实现软件与硬件的无缝集成，并进行硬件功能验证、软件功能调试、通信调试及用户界面调试，确保各组件独立运行正常且软件算法精确无误。最终，模拟实际生产环境进行综合测试，包括连续 24 小时运行监测，以评估系统在动态环境下的性能与稳定性，确保硬件与软件的协同运作以及系统整体性能满足预期标准<sup>[8]</sup>。

### （四）系统性能优化策略

为维持水分仪实时监测系统长期运行的高效性与稳定性，实施了以下性能优化措施：应用多线程技术，借助 pthread 库在 Linux 环境下并行处理传感器数据，显著提高系统响应速度；采用快速傅里叶变换（FFT）算法优化信号处理实时性；利用内存池技术结合 C++ 的 allocator 类，减少内存碎片，增强内存使用效率；利用 STM32 微控制器的看门狗定时器确保系统稳定性；通过 LZ77 数据压缩算法减轻网络传输负担；利用 Qt 框架的事件驱动模型优化用户界面响应；设置硬件设备的低功耗模式以降低能耗。这些措施的综合运用，有效提升了系统持续运行的性能与稳定性。

## 四、预警系统构建与实现

在水分仪实时监测系统的硬件与软件实现基础上，本章将转向预警系统的构建与实现，这是确保卷烟生产过程中水分异常得到及时响应的关键。

### （一）预警系统理论基础

预警系统理论基础是构建预警系统的根本，它涉及预警原理、风险识别、信号处理等多个领域。预警系统旨在通过分析实时监测数据，识别出潜在的生产风险，并提前发出警报，以便采取措施预防问题的发生<sup>[9]</sup>。理论基础的研究有助于明确预警系统的设计原则和目标，为后续的模型构建和算法设计提供理论指导。

### （二）预警模型构建方法

在预警系统的构建与实现中，本研究采用了一系列方法来确保预警模型的可靠性，包括通过高精度传感器进行数据采集与预处理，运用统计分析与机器学习算法如 PCA 和相关性分析进行特征选择与提取，基于卷烟生产特点选择并训练时间序列分析、SVM、ANN 或深度学习模型，同时结合安全标准和质量要求设定预警阈值，并通过实时数据验证与优化模型，以交叉验证等技术提高模型泛化能力，从而确保预警系统的准确率和实用性。

### （三）预警算法设计与实现

在预警系统的构建与实现中，预警算法的设计与实现是确保系统预警准确性和及时性的关键。本研究基于卷烟生产过程中水分变化特性的深入分析，结合实时数据，选择了 ARIMA 算法进行时间序列预测，并通过 AIC 和 BIC 准则对模型参数进行优化，

以平衡预测精度和模型复杂度。在 Python 环境中，利用 pandas 和 statsmodels 库实现算法，包括数据预处理、模型拟合和残差分析。预警逻辑设计基于预测值与实际值之间的偏差，超过阈值则触发预警，阈值设定考虑了历史数据分析和生产安全标准<sup>[10]</sup>。最终，通过对比预测结果与实际数据，以 MSE、RMSE 和预测准确率为指标，验证了算法的预测性能。

### （四）预警系统性能评价与优化

预警系统性能评价与优化是对已构建预警系统性能的全面评估和提升。性能评价包括预警的准确性、及时性、误报率和漏报率等指标。通过对预警系统在实际应用中的表现进行深入分析，可以发现系统的不足之处，并采取相应的优化措施。优化策略可能涉及算法的调整、模型的更新、硬件的升级等多个方面，旨在不断提高预警系统的整体性能，确保其在卷烟生产中的有效应用。

## 五、结束语

本研究全面深入地探讨了卷烟生产中水分仪实时监测与预警系统的开发，从理论到实践，确立了水分控制对卷烟品质的重要性，并分析了监测技术原理及发展趋势。研究中识别了水分控制的关键技术挑战，为系统开发提供了支撑。尽管本研究为技术进步提供了新思路和方法，但在极端环境适应性和预警模型精确度方面存在局限。未来的研究应针对这些不足进行深入探索，以促进卷烟生产自动化技术的发展。

## 参考文献

- [1] 宋旭东. 烟草制丝工艺设备实时监测系统的研制 [D]. 厦门大学, 2019.
- [2] 朱卫东, 朱建平, 徐淮明, 等. 烟气排放连续监测系统的烟气参数在线监测技术 [J]. 分析仪器, 2011, (01): 83-88.
- [3] 卢忠岩, 张伟, 金军辉. 基于机器学习的卷烟烘丝干头出口水分预测 [J]. 中国设备工程, 2021, (04): 18-20.
- [4] 国家烟草专卖卷烟工艺规范局 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2016.
- [5] 烟草及烟草制品 调节和测试的大气环境: GB/T 16447—2004 [S]. 2004.
- [6] 王海龙, 张志勇, 王新辉, 等. 基于 MFA-SM 下细支卷烟烟丝含水率自动控制系统设计 [J/OL]. 计算机测量与控制, 1-12[2024-10-22]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4762.TP.20241022.0952.002.html>.
- [7] 王丽辉, 金曦, 徐锦, 等. 烟草企业卷烟业务链高效能协同联管体系研究 [J]. 中国市场, 2024, (30): 131-134.DOI: 10.13939/j.cnki.zgsc.2024.30.033.
- [8] 俞晓春, 于永龙, 方梦珍, 等. 卷烟工厂水系统计量率提升方法研究与应用 [J]. 设备管理与维修, 2024, (19): 175-178.DOI: 10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2024.10.53.
- [9] 王茂方, 陈圣, 金义龙, 等. 基于多模态的卷烟厂设备健康监测系统 [J]. 科技与创新, 2024, (19): 60-63.DOI: 10.15913/j.cnki.kjycx.2024.19.016.
- [10] 何亮, 程光, 张楠, 等. 红外水分仪在电加热卷烟制品中的应用 [J]. 设备管理与维修, 2022, (24): 107-109.DOI: 10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2022.12D.49.