

两种新型自动化过滤装置研究及应用

尤妍^{1*} 应敏健² 吕敏金²

1.台州市路桥区疾病预防控制中心 浙江 台州 318050

2.台州市铭泰建设有限公司 浙江 台州 318000

【摘要】：针对检测过程中前处理过滤速度慢，效果差等突出问题，设计两种新型自动化过滤装置。一种为重力-真空联合过滤装置，将自然过滤与真空过滤相结合，引入探针监测技术实时监测液滴状态，实现两种过滤模式的自动切换，解决了现有装置在切换方法时操作繁琐的问题。另一种为全自动离心过滤装置，采用涡旋过滤技术，配备自动滤纸更换功能，实现离心过滤全程自动化。两种装置均能显著提升过滤效率，缩短实验周期，降低运行成本与人工操作失误风险，在保障检测人员安全的同时也符合环保要求。本设计填补了国内自动化过滤装置的空白，具有广阔的应用前景。

【关键词】：重力-真空联合过滤装置；全自动离心过滤装置；自动化

DOI:10.12417/2705-0998.26.07.062

1 引言

实验室在食品监测、水质检测、职业卫生监测等领域发挥着关键作用，其检测结果对产品质量监督与公共卫生安全具有重要意义^[1]。构建安全、实用、智能的实验室已成为当前亟待解决的重要课题^[2]。

检测过程一般包括样品采集、前处理、分析检测以及数据报告。其中，样品前处理几乎占据整个检验时间的70%，其质量与效率直接影响检测结果的准确性与时效性。过滤作为去除样品中干扰物质的关键步骤，在游离二氧化硅测定、果蔬农药检测、食品色素分析等检测项目中均不可或缺^[3]。

常规的过滤方法有自然过滤法、真空过滤法和离心过滤法。自然过滤法是利用液体的重力作用实现固液分离，在处理大量液体或高固含量样品时效率较低。有些特殊样品可能由于颗粒大小、形状或化学性质的原因，无法通过自然过滤法进行有效的分离。自然过滤法还可能导致液体残留量较大，即过滤后仍有部分液体滞留在滤纸或过滤漏斗中，无法完全流入接液瓶等问题。真空过滤法是利用真空泵在过滤装置内形成负压，使滤膜两侧形成压力差，外部大气压推动滤液通过滤纸，从而加速固液分离。该方法速度快、残留少，但是在过滤过程中，由于真空泵需要持续工作，导致使用耗能较大。离心过滤法是利用高速旋转产生的离心力作为推动力，实现固液快速分离和滤饼脱水，但是存在装卸料的停机时间，限制了其连续生产能力。

随着自动化、信息化技术的发展，采用机器替代人工进行样品转运和实验操作，进而实现实验室检测和工业化生产的全

流程自动化和可追溯，已展现出重要的经济和社会效益^[4]。实验室急需引入自动化系统以提高实验效率和结果的可靠性。为保证数据准确性，做好检测样品过滤步骤，设计可操作性强、快速、高效的自动化过滤设备，减少人为失误，增强工作的有效性，提高实验室效益，是完成检测和样品质量控制的关键。

2 设计概述

2.1 重力-真空联合过滤装置

在样品前处理中，通常先采用自然过滤进行固液分离；当自然过滤不能实现固液体的有效分离时，再采用真空抽滤完成过滤。这两种过滤方法中接液瓶不同，需要在过滤过程中进行更换，更换时需要先将原先的敞口接液瓶移开，再将封闭的接液瓶与过滤漏斗连接，由于过滤漏斗中还残留有液体和过滤出的固体，在操作过程中还需要减少对过滤漏斗的晃动，避免过滤漏斗中的液体和固体倒出，操作繁琐不便。本装置将自然过滤和真空抽滤集成于一体，通过探针实时监测液滴状态，自动切换过滤模式，有效解决了切换过程中的操作不便问题。适用于色素提取液、粉尘中游离二氧化硅等样品的过滤。

2.2 全自动离心过滤装置

利用离心力作为主要推动力，使液体通过过滤介质（如滤网、滤布），固体颗粒被截留在介质表面形成滤饼，同时将液体均匀的穿过滤饼层流出，实现了固液分离。本装置配备自动换纸系统，无需手动更换滤纸，大幅减少了人为更换滤纸带来的误差，从而实现了全过程的自动化操作。尤其适用于高固含量、需快速分离或对负压敏感的物质（如农药残留样品）的过滤。

作者简介：尤妍（1986-），女，硕士研究生学历，副主任技师，研究方向：理化检验研究。

3 设计特色

3.1 重力-真空联合过滤装置的设计特色

3.1.1 自动化液体处理技术

系统可精确完成样品的吸取、分配与混合，保证液体计量的一致性，最大限度减少人为误差，显著提高实验重现性与通量，在提升检测速度的同时也增强了数据的可靠性。

3.1.2 实时监控和反馈系统

通过传感器实时采集过滤过程中的液滴的形态、大小等信息，系统依据信息自动判断并切换过滤方式。该设计不仅有效地提升了实验精度，还能对过程偏差再最短的时间内做出响应，在自动化背景下更进一步提高了实验的可靠性与有效性，同时也使检测人员能够全程掌握实验状态。

3.2 全自动离心过滤装置的设计特色

系统配备自动换纸装置，实现滤纸的自动输送与回收，有效降低了人工操作，对连续过滤提供了很大的支持，无需进行分装。利用涡旋离心技术，不仅将过滤时间大大缩短，而且极大的提高了工作效率。例如，需要过滤 15 公斤水，本装置仅需 30 秒即可完成，传统的自然过滤方法需要 45 分钟，抽滤也需 15 分钟。

3.3 两种自动化过滤装置共同的设计特色：

3.3.1 数据采集与处理

采用内置的高效数据采集软件手段，系统不仅能实时地将检测过程中各个关键的过滤参数记录下来，即时将以图像、表格的形式在工作台的屏幕上显示出来，检测人员在过滤过程中能及时对各个参数做出准确的决策，有利于提高检测的准确性和可靠性。凭借对数据的自动化处理，既能尽量减少手工的输入失误，又能大大地提高了数据的准确率和处理的效率。采用对多源的数据的集成处理为实验人员提供了一个完整的、全面的实验视图，使实验人员可以更方便地对数据的整体性、关联性、可比性等进行分析研究。

3.3.2 废液自动收集

依据《中华人民共和国水污染防治法》要求，排放废水的单位必须采取有效措施，确保收集并处理所有产生的废水，以防止对环境造成污染，特别是含有毒有害物质的废水，应当实施分类收集和处置，严禁稀释后排放。本装置具备废液自动收集功能，可对实验过程中产生的废液进行分类收集与集中处理，避免环境污染，尤其适用于含有毒有害物质的废水。

3.3.3 个性化服务模块

装置提供基础型与拓展型两种配置，使其具有广泛的应用场合和较好的可拓展性。既可独立完成自动化过滤工作，也可以根据检测的不同需求，灵活的将自动进样盘、氮吹仪等模块有机的组合起来，实现前处理全过程自动化。

4 结构组成及关键部件

4.1 重力-真空联合过滤装置

由过滤漏斗、接液瓶、控制器、传感器、阀门、排液管和真空泵等组成。过滤漏斗与接液瓶密封连接，接液瓶通过管路分别与真空泵和排气阀门相连。系统设有液位传感器与滴液传感器，实时监测过滤状态，并将信号传输至控制器，由控制器自动控制阀门与真空泵的启停。

4.1.1 阀门控制

初始状态下，关闭所有阀门，样品倒入过滤漏斗后打开排气阀，启动自然过滤。当液滴停止时，关闭排气阀，开启真空阀并启动真空泵，转为真空过滤，直至过滤完成。

4.1.2 传感器监测

液位传感器监测漏斗内是否存有液体，滴液传感器检测液滴状态。控制器根据传感器信号自动决策过滤模式的切换。传感器可选用雷达、红外、激光或声波类型。

4.1.3 控制器

控制器采用金属外壳，有指纹识别或者锁扣装置，避免非实验人员打开。有触摸屏、电源开关和紧急按钮等部件，对整个过滤过程进行控制。通过触屏可以实现手动控制与自动控制的切换，也可实现对每个过滤步骤的单独控制。

4.2 全自动离心过滤装置

由筒体及筒状过滤组件构成。筒体底部固定有底座，过滤组件插入筒体内并紧贴底座。底座连接有排液管，该管与筒体和过滤组件之间的空腔连通。过滤组件内部设有一可旋转的转筒，其外表面装有多片波轮叶片（过滤组件、筒体、转筒、送纸轴与收纸轴组合后的立体结构见图 1）。此外，装置配备加液管及抽液泵，用于向转筒与过滤组件之间的空腔注入液体。

4.2.1 自动更换滤纸装置

滤纸两端固定于第一滤筒与第二滤筒之间。通过滤纸的作用将液态中的液相和固相的杂志有效分离出来。由于柔软的滤纸材质，通过内外双滤筒的夹持与支撑，使其始终保持较好的形态稳定从而保证了滤纸的过滤效果。在该离心过滤装置中，第一滤筒由两个半筒形分体对接而成，对接处形成纵向缝隙。筒体对应位置设有开缝，外侧分别装有可旋转的送纸轴与收纸轴。滤纸两端经对接缝和筒体开缝引出，分别卷绕在送纸轴与收纸轴上。

工作时，收纸轴转动将使用后的滤纸向外抽出，同时送纸轴同步释放新滤纸，使其自动进入第一与第二滤筒之间的工作区域。该系统采用对滤纸的连续自动更换，有效减少了更换滤纸带来的长时间的停机，极大的提高了过滤装置的工作效率。

4.2.2 三通阀

排液管上设置三通阀,可分别连接废液瓶与收集瓶,实现清洗废液与样品滤液的分流收集,操作灵活方便。比如正式过滤之前需要对筒体、过滤组件和转筒进行清洗,清洗产生的废液可以由其中一个支管流出,清洗后正式过滤时,过滤产生的液体则由另一个支管流出,使用方便。

4.2.3 加液管

待过滤液体置于样品容器中时,将加液管入口端插入样品容器,启动抽液泵,将液体抽送至转筒与过滤组件之间的腔体。转筒旋转时,波轮叶片带动液体形成涡流,产生离心力,促使液体快速通过过滤组件,其中固体颗粒被截留在组件表面,滤液则经排液管排出。

加液管还设有至少一条支路,支路上安装有支路阀。通过开启支路阀,可向待过滤液体中添加试剂,如促进固体析出的絮凝剂等,无需时则可关闭支路阀,操作灵活便捷。

加液管出口位于波轮叶片上方,可根据实际需求选择两种过滤模式:一是先加液并低速转动转筒,再切换至高速进行过滤;二是加液同时即进行高速旋转过滤,从而提升整体工作效率。

5 可行性和推广前景

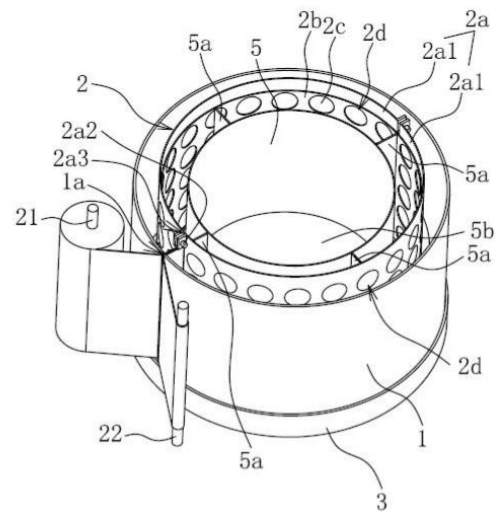
我国有检验检测机构 50000 多家,我国共有高等学校 3000 多所,有些高等学校有多个实验室。中国制药企业 100000000 多家,化工企业 100000 多家。本产品可用于实验室检测分析,还可用于食品、制药、化工、建工等企业的日常生产。

本设计集成高效与智能于一体,开发了两种基于机器自动化的过滤装置。重力-真空联合过滤装置能自动识别过滤状态并切换模式,对于多种溶液过滤与洗脱都能实现自动化;全自动离心过滤装置集离心与过滤的功能于一体,对大体积的样品

能实现连续处理。两系统均实现全程自动化,不仅大大节约时间与人力,更降低了实验的劳动强度,提高了检测效率,也使实验的结果具有一致性,同时还具备废液自动收集功能,符合环保的要求,保障了实验人员的安全。本项目所研发的产品能够有效应对传统过滤设备存在的问题,满足市场日益增长的需求,具有广阔的推广前景。

6 结语

本产品采用其独特的过滤机理,不仅能有效解决了传统过滤设备存在的各种问题,而且提升了理化实验室的检测质量与竞争力,推动我国检测事业及工业生产的可持续发展,最终惠及民生。



1.筒体 1a.开缝 2.过滤组件 2a.第一滤筒 2a1.分体 2a2.螺栓 2a3.对接缝 2b.第二滤筒 2c.滤纸 2d.通液孔 3.底座 5.转筒 5a.波轮叶 5b.连接板 21.送纸轴 22.收纸轴

图1 全自动离心过滤装置过滤主件立体结构示意图

参考文献:

[1] 刘庆琼郭汝华.理化检测实用手册[M].北京:航空工业出版社,2004.1.
[2] 张力.检测机构实验室仪器设备管理存在的问题及改善措施分析[J].大众标准化,2021(17):225-227.
[3] 李琳琳.高效液相色谱法检测骨化三醇前体含量的价值分析[J].实验室检测,2025(17):41-43.
[4] 王明旭,赵浩钧,杨磊,等.基于动态图像的小麦加工粒径在线检测装置设计[J].食品与机械,2025(3):74-80.