

临床检验仪器中常用的液面检测技术

严荣国 邵泓燃 程清源

作者单位: 200093 上海, 上海理工大学健康科学与工程学院 (严荣国、邵泓燃)

200437 上海, 上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院医学装备处 (程清源)

通信作者: 严荣国, Email: yanrongguo@usst.edu.cn

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7151.2021.03.017

【摘要】 临床检验仪器主要针对血、尿、分泌物等标本, 常需对样品、试剂、稀释液、缓冲液、封闭液等溶液进行吸样探测、液体容积定量以及判定液体是否到位等操作, 需用到液面检测技术。本文详细阐述了临床检验仪器中的光电式液面检测技术在血浆黏度测定、血细胞分析技术、电解质分析技术中的应用以及电容式液面检测技术, 并对这两种液面检测技术进行比较。

【关键词】 临床检验仪器; 液面检测; 生化分析; 血细胞分析; 电解质分析

基金项目: 上海市教委本科重点课程项目 (1019308402); 上海理工大学外国留学生英语授课专业和课程建设项目 (1021308001); 上海理工大学一流本科课程项目 (YLKC2021-33)

Frequently-used technology of liquid level detection in clinical laboratory instruments

Yan Rongguo, Shao Hongran, Cheng Qingyuan. School of Health Science and Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China (Yan RG, Shao HR); Department of Medical Equipment, Yueyang Hospital of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 200437, China (Cheng QY)

Corresponding author: Yan Rongguo, Email: yanrongguo@usst.edu.cn

【Abstract】 Clinical testing instruments are mainly used for blood, urine, secretion and other samples. It is often necessary to detect samples, reagents, diluents, buffers, sealing solutions and other solutions, quantify liquid volume, and determine whether the liquid is in place. Liquid level detection technology is commonly used. This article describes in detail the application of photoelectric liquid level detection technology in plasma viscosity measurement, blood cell analysis technology, electrolyte analysis technology and capacitive liquid level detection technology, and compares the two liquid level detection technologies.

【Key words】 Clinical laboratory instrument; Liquid level detection; Biochemical analysis; Hematological analysis; Electrolyte analysis

Fund program: Key Undergraduate Course Project of Shanghai Municipal Education Commission (1019308402); Foreign Students' English Teaching Major and Curriculum Construction Project of University of Shanghai for Science and Technology (1021308001); First Class Undergraduate Course Project of University of Shanghai for Science and Technology (YLKC2021-33)

在临床诊断和治疗过程中, 通常需要收集患者的血液、体液、分泌物等, 除目视观察外, 还可采用物理、化学、生物化学、免疫学等多种手段, 对临床诊断指标进行检测和分析^[1-5]。根据国家药品监督管理局 (National Medical Products Administration, NMPA) 发布的《医疗器械监督管理条例》中的相关规定, 临床检验分析仪器可分为血液学分析设备、生化分析设备、电解质及血气分析设备、免疫分析设备等。在上述临床检验仪器中, 经常需要使用定量调配的溶液, 如血细胞分析中用到的血液、清洗液、稀释液^[6], 流式细胞术分析中用到的样品

和鞘液, 生化分析中用到的样品和试剂, 免疫分析中用到的抗原、抗体、封闭液等^[7]。这些液体可能为稀溶液或浓溶液, 其流动形式可能为牛顿流体或非牛顿流体, 可能呈现稳流或湍流。在使用这些液体时, 常需用到液面检测技术 (liquid level detection technology), 有时也利用液体中的气泡进行定量检测, 即气泡检测技术 (bubble measuring technology)^[8-10]。

在对装有组织液、试剂、封闭液等液体的容器进行液位探测时, 根据传感器与液位是否接触, 可分为接触式和非接触式, 接触式液位探测的原理主要有: ① 电容法, 利用静电原理和液体电容的介电常

数发生改变制成;②电阻法,不同的液体被测点具有不同的电阻;③机械振动法,根据机械振动原理设计;④压力法,通过对装有液体容器的底部压力进行检测从而得出液位高度。非接触式液位传感器的原理主要有:①光电法,利用光在不同介质中折射率不同的原理制成;②超声法,利用超声波特性制成。本文介绍临床常用的光电式液面检测技术(非接触式)和电容式液面检测技术(接触式)。

1 光电式液面检测技术

1.1 工作原理 光电式液面检测技术或气泡检测技术的工作原理及光路图见图 1。该装置主要由发光管 E、接收管 R、光阑 1 和光阑 2、凸透镜 1 和凸透镜 2 组成。光阑 1 和光阑 2 起到限制光能的作用;在玻璃管或橡胶管内无液体流过光轴(或存在较大气泡)时,左侧的凸透镜 1 将点光源 E 发出的光经过光阑变为平行光源,照射到玻璃管或者橡胶管上,而右侧的凸透镜又将光线汇聚,经过光阑 2,照射到接收管 R 上,整个光路通畅;而当有液体经过(或无气泡存在)时,接收管 R 接收不到光信号,或接收到的光信号十分微弱。在实际应用中,玻璃管或橡胶管的管壁充当透镜。通过改进电路或软件算法,也可以省去光阑。

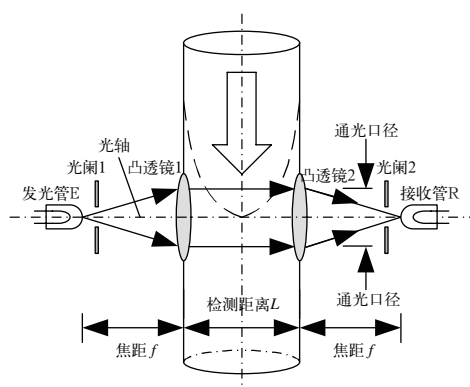


图 1 光电式液面检测技术工作原理及光路图

1.2 典型应用 光电式液面检测技术在临床检验仪器中的典型应用包括:①血浆黏度测定;②血细胞分析技术;③电解质分析技术。

1.2.1 血浆黏度测定 当血浆在体外以层流形式在半径为 R 的毛细管中流动时,液层之间存在摩擦现象,其流动形式符合泊肃叶(Poiseuille)方程。

$$Q = \frac{\pi R^4 p}{8\eta L} \quad (1)$$

其中 Q 为单位时间内流过某一横截面的液体

体积, p 为血浆承受的压力差, L 为毛细管的长度, η 为黏度系数(或黏度)。由于式中毛细管半径 R 和血浆承受的压力差 p 不易被精确测得,直接用公式(1)计算容易产生较大误差。因此在实际使用中, η 值一般对比两种液体,采用相对法进行计算求得,计算方法及定义公式如下。

取相同体积的两种液体[被测液体 p , 如血浆(plasma);参考液体 w , 如水(water)],在重力作用下分别流过同一支毛细管黏度计(图 2 所示为奥氏毛细管黏度计)。若测得流过相同体积(V_{a-b})液体所需的时间为 t_p 与 t_w , 则可得以下公式。

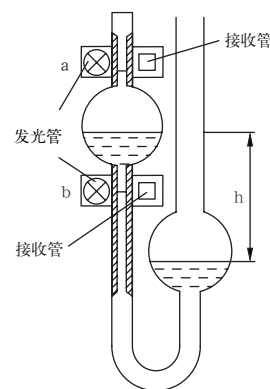
$$\eta_p = \frac{\pi R^4 p_p t_p}{8LV_{a-b}} \quad (2)$$

$$\eta_w = \frac{\pi R^4 p_w t_w}{8LV_{a-b}} \quad (3)$$

由于液体压强存在公式 $p = \rho gh$ (h 为液体高度, ρ 为液体密度, g 为重力加速度),若测定时采用同一支液体黏度计,则根据式(2)和(3)分别计算,可得以下公式。

$$\frac{\eta_p}{\eta_w} = \frac{\rho_p t_p}{\rho_w t_w} \quad (4)$$

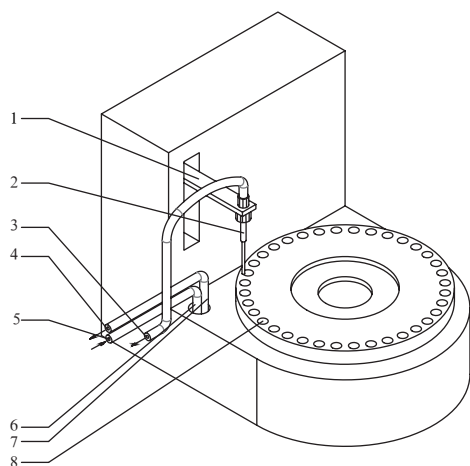
在测得 t_p 、 t_w 、 ρ_p 、 ρ_w 后,由于参考液体的黏度为固定值 η_w , 即可求得该温度下的被测液体黏度 η_p 。可见这种测定液体黏度方法的关键之处在于精确测定液体流过毛细管的时间 t_p 和 t_w 。



注: h 为液面高度差, a 、 b 为发光管和接收管位置
图 2 奥氏毛细管黏度计液面检测示意图

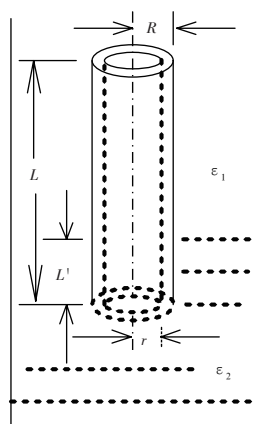
以图 2 奥氏黏度计为例,在 a 、 b 处均配有一个发光管和接收管,用于液体流动时的液面检测,液体从上向下流动,当流动到 a 处时触发计时开始,而流动到 b 处时再次触发计时结束。用这种方法分别测

分析中较为普遍使用的是接触式液位探测。电容式液位探测原理如图 6 所示^[14-15],主要基于加液针接触到液体后电容值发生变化的原理制成^[16-21]。



注: 1 为采样摇臂, 2 为采样针, 3 为采样管, 4 为回液管, 5 为进液管, 6 为采样器进液不锈钢管, 7 为采样器回液不锈钢管, 8 为采样器转盘

图 5 某生化分析仪器自动采样器外形图



注: ε_1 为空气介电常数, ε_2 为待测液体的介电常数, L 为加液针有效长度, L' 为加液针进入待测液体的深度, r 为加液针金属管内径, R 为加液针金属管外径

图 6 电容式液面检测技术原理图

加液针作为电容器, ε_1 为空气介电常数, ε_2 为待测液体的介电常数, L 为加液针有效长度, L' 为加液针进入待测液体的深度, r 、 R 分别为加液针金属管内径和外径, C_{total} 为总电容值, C_{air} 为待测液体上方空气所在部分的电容值, C_{liquid} 为待测液体部分的电容值。按照公式(8)~(10)计算。

$$C_{\text{total}} = C_{\text{air}} + C_{\text{liquid}} \quad (8)$$

$$C_{\text{air}} = \frac{2\pi\varepsilon_1(L-L')}{\ln(R/r)} \quad (9)$$

$$C_{\text{liquid}} = \frac{2\pi\varepsilon_2L'}{\ln(R/r)} \quad (10)$$

整理上述 3 式, 可得

$$C_{\text{total}} = \frac{2\pi(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{\ln(R/r)}L' + \frac{2\pi\varepsilon_1}{\ln(R/r)}L \quad (11)$$

记 $k = \frac{2\pi(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{\ln(R/r)}$, $b = \frac{2\pi\varepsilon_1}{\ln(R/r)}L$, 则

$$C_{\text{total}} = kL' + b \quad (12)$$

对同一加液针而言, 式中 L 、 ε_1 、 ε_2 、 r 和 R 都保持不变, 所以总电容值 C_{total} 与加液针进入待测液体的深度 L' 呈线性关系, 即可根据电容的变化确定加液针进入液体的深度。

在生化分析仪的实际应用中, 电容式液位传感器经过电容/电压转换电路, 放大滤波, 模数转换(analog to digital converter, A/D 转换), 进入中央处理器(central processing unit, CPU)进行计算。样本进样量为 μL 级, 精度高, 速度快, 污染低。

3 两种液面检测技术的比较

由于光在不同的测量介质之间传播时会发生反射与折射等现象, 因此根据该光学原理, 可以制成光电式液位传感器。从传感器与液体是否接触来看, 光电式液位传感器是一种非接触式液位传感器, 在使用过程中具有结构简单、体积小、使用便捷、敏感度高、定位准确等优点, 且可对耐热、耐压容器中的强酸、强碱液体进行检测, 同时对检测液体的影响较小。光电式液位测量传感器不会受到被测液体的相关特性影响, 包括被测液体的温度、压力、密度、电流等参数。

光电测量传感器的液位探头由于本身体积比较小, 所以通常可在一个被测容器上同时安装多个光电传感探头, 制成可进行多点液位探测的多点式液位测量传感器。与其他液位检测传感器相比, 光电元件的特性决定了光电式液位检测传感器具有更高的测量可靠性和更长的使用寿命, 免除了调试和维护过程, 可以自动测量和校验, 且安装后即可直接使用, 因其便捷性得到广泛应用。在许多装有低黏度洁净液体容器的重要检测点, 如液位上下限位点都可以安装利用光学特性制成的光电液位检测传感器, 以达到测量、监控、自动报警、定点自动控制、判断是否存在污染等目的。本文详细介绍了几种新型光电式液位传感器在临床检验仪器中的主要应用, 包括以下几方面: ① 在血浆黏度测定中的应用; ② 在血细胞分析技术中的应用; ③ 在电解质分析

技术中的应用。

电容式液位传感器是利用被检测液体与介质液面表面的液体导电系数不同而直接引起液位变化的一种液位传感器,具有检测敏感度高、反馈和响应速度快、结构简单、安装方便、温度变化稳定性好等优点,同时过载能力强,可适用于恶劣环境。电容式液位传感器的主要优点之一是可以直接通过任何一种介质来检测容器内部液位或液体温度的改变,容器内有污垢和沉淀物不会影响检测结果。

本文介绍了电容式液位检测传感器在生化分析中的应用。该方法在微量检测(如血浆、血清上样等)中应用较多。临床常用的液面检测技术对比见表 1。

表 1 临床常用液面检测技术比较

液面检测技术	用途	功能	说明
光电式	血细胞分析	对液面或气泡进行检测,从而进行液体体积的定量检测	电路简单,但液体定量精度低
	电解质分析	对电解质溶液吸样是否到位进行检测	电路简单,无需定量
电容式	生化分析	对血浆、血清等上样样本进行定量检测	电路复杂,液体定量精度高

3 结论

临床检验仪器针对血、尿、便、分泌物等样本进行测定和分析,这些研究样本常存在病毒、细菌等病原体的交叉感染和污染问题,因此需采用自动化、智能化的形式实现样本、试剂等液体的上样或定量检测。用于检测液体用量的液面探测技术往往是这类仪器必不可少的功能。本文介绍了临床检验仪器常用的液面检测技术,可用于以下方面:①对样品、试剂、稀释液等进行吸样探测;②对样品体积进行定量检测;③判定溶液是否吸样到位。以几类常用的医用检验仪器为例,概述了液面检测技术在医学检验仪器中的应用。另外,还有很多医用检验仪器也会用到此类液面检测技术,如血气分析、酶联免疫分析技术、发光免疫分析等也用到了类似的液面检测技术。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- 严荣国,王成.临床医学检验仪器分析新技术[M].北京:科学出版社,2019.
- 朱根娣.现代检验医学仪器分析技术及应用[M].2版.上海:上海科学技术文献出版社,2008.
- 邹雄,丛玉隆.临床检验仪器[M].北京:中国医药科技出版社,

2010.

- 曾照芳.临床检验仪器学[M].2版.北京:人民卫生出版社,2012.
- 杜丽.临床医学检验技术分析[J].中国卫生标准管理,2015,6(3): 44-45. DOI: 10.3969/j.issn.1674-9316.2015.03.034.
- 薛桂阳,曹岩,刘明开. Sysmex XN-1000 自动血细胞分析仪复检规则的建立与评估[J].实用检验医师杂志,2019,11(3): 154-157. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7151.2019.03.009.
- YORIFUJI T, MATSUOKA K, GRANDJEAN P. 婴儿期神经中毒史对成年后身高及血液生化的影响[J].喻文,罗红敏,译.中华危重病急救医学,2017,29(3): 205. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2017.03.101.
- PUMPOUNG T, EARDPRAB S. The use of a liquid level detection system in containers using radio frequency identification technology [C]. Phuket: 2020 17th International Conference on Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2020. DOI: 10.1109/ECTI-CON49241.2020.9158317.
- 刘雄,林茂松,梁艳阳.基于 PLL 的高灵敏度自校准液面检测系统设计[J].微型机与应用,2014,33(24): 31-34. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7720.2014.24.012.
- 张文峰. XD685 电解质分析仪常见故障分析[J].中国医疗设备,2013,28(6): 129,136. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1633.2013.06.052.
- 陈秀敏.电解质分析仪与全自动生化分析仪测定钾、钠、氯离子浓度差异性的比较[J].中国医药指南,2016,14(18): 159-160.
- 糕金花,刘秀荣. IMS-972 电解质分析仪性能评价[J].国际检验医学杂志,2016,37(1): 91-93. DOI: 10.3969/j.issn.1673-4130.2016.01.041.
- 张长军. ADVIA XPT 全自动生化分析仪的性能验证[J].实用检验医师杂志,2018,10(2): 111-114. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7151.2018.02.016.
- 招惠玲,周美娟,胡远忠.电容式液位测量系统的设计[J].传感器与微系统,2004,23(3): 40-42. DOI: 10.3969/j.issn.1000-9787.2004.03.012.
- 蔡闻智.电容液位计在被测介质介电常数变化场合的应用[J].电世界,2020,61(2): 46-47. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1344.2020.02.019.
- 钟道鸿,倪屹,郭硕,等.全自动生化仪液面探测系统的设计与应用[J].传感器与微系统,2020,39(10): 70-72,76. DOI: 10.13873/J.1000-9787(2020)10-0070-03.
- 王典雄.全自动加样系统液面探测的研究[J].数字技术与应用,2015,33(1): 59-60.
- 张晓亮,王弼陡,罗刚银.一种具监测功能的高精度微量移液器的设计[J].北京生物医学工程,2019,38(4): 407-416. DOI: 10.3969/j.issn.1002-3208.2019.04.011.
- 李晶晶,杨希文,王建民,等.智能液位测量技术在毛细管黏度计自动检定过程中的应用[J].计量技术,2019,63(12): 39-43. DOI: 10.3969/j.issn.1000-0771.2019.12.12.
- 祝连庆,张文昌,董明利,等.一种提高全自动酶免分析仪微量移液精度的方法[J].仪器仪表学报,2013,34(5): 1008-1014. DOI: 10.3969/j.issn.0254-3087.2013.05.008.
- 杨溢,郭阳宽,祝连庆,等.一种基于加样针结构的电容法液位检测系统[J].传感器与微系统,2015,34(10): 48-50. DOI: 10.13873/J.1000-9787(2015)10-0048-03.

(收稿日期:2021-08-13)

(本文编辑:邵文)