



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104777267 A

(43) 申请公布日 2015. 07. 15

(21) 申请号 201510146022. 3

(22) 申请日 2015. 03. 30

(71) 申请人 中国农业大学

地址 100193 北京市海淀区圆明园西路 2 号

(72) 发明人 董仁杰 吴树彪 陈新颖 刘良

(74) 专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002

代理人 李相雨

(51) Int. Cl.

G01N 31/16(2006. 01)

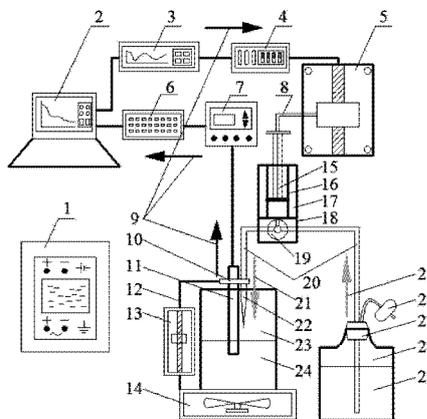
权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置

(57) 摘要

本发明公开了一种自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,涉及生物发酵技术领域。它解决了现有技术中无法同时精确测定厌氧发酵液中碳酸氢盐碱度(TIC)和挥发性脂肪酸(VFA)质量浓度的问题。本自动滴定装置包括电源模块、人机交换模块、数据采集模块、驱动传动模块、吸液/滴液模块,它采用组合一体式结构,应用软件提供用户操作面板,对应实际仪器的面板实现对仪器的控制和信号表达功能,能通过一次滴定同时实现对厌氧发酵液中TIC和VFA质量浓度的精确测定,还可以实现pH计自动标定、自动滴定与补液、实时生成滴定曲线、数据处理、显示与存储等功能,适用于厌氧发酵液的pH、TIC和VFA质量浓度测定,还可用于其他样品的滴定。



1. 一种自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,包括电源模块、人机交换模块、数据采集模块、驱动传动模块、吸液 / 滴液模块,其特征在于电源模块包括交流转直流稳压电源 (1),人机交换模块包括计算机 (2),数据采集模块包括数据采集卡 (6)、变送器 (7)、pH 电极 (11)、传感器卡盘 (10)、升降杆 (12) 和电动升降机 (13),驱动传动模块包括运动控制器 (3)、驱动器 (4)、电控平移台 (5) 和活塞推杆 (8),吸液 / 滴液模块包括滴定管 (17)、三通电磁换向阀 (19)、输液管 (20)、滴头 (22)、滴定池 (23)、磁力搅拌器 (14)、透气管 (26)、补液瓶 (28) 和补液瓶橡胶塞 (27)。

2. 根据权利要求 1 所述的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,其特征在于其中的计算机 (2) 带有应用程序和驱动程序,滴定过程和终点判断由计算机应用程序自动控制。

3. 根据权利要求 1 所述的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,其特征在于所述的滴定管 (17) 包括滴定管柱塞 (15)、滴定管内保护套 (16) 和滴定管外罩 (18) 且三者同轴心,三通电磁换向阀 (19) 的开闭由计算机应用程序自动精确控制,吸液后间隙自动补偿,脉冲信号 A/D 转换值与滴定管 (17) 发送体积值准确对应。

4. 根据权利要求 1 所述的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,其特征在于所述的磁力搅拌器 (14) 置于滴定池 (23) 下方,磁力搅拌器 (14) 的搅拌转速根据样品的自身特性由计算机应用程序精确设定实现自动无极调速。

5. 根据权利要求 1 所述的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,其特征在于所述的电控平移台 (5) 包括步进电机、多级传动齿轮、刚性联轴器、传动丝杠和滑块,通过多级传动齿轮、刚性联轴器、传动丝杠、滑块和活塞推杆 (8),将步进电机的圆周运动转化为滴定管柱塞 (15) 的直线运动,滑块、活塞推杆 (8) 及滴定管柱塞 (15) 三者为刚性链接,上、下限位由定位准确的光电开关和计算机应用程序软件限位同步限位。

6. 根据权利要求 1 所述的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,其特征在于其中的交流转直流稳压电源 (1) 输入端接 220V 交流电,输出端接计算机 (2)、运动控制器 (3)、驱动器 (4)、数据采集卡 (6)、变送器 (7)、电控升降机 (13)、磁力搅拌器 (14) 和三通电磁换向阀 (19)。

7. 根据权利要求 1 所述的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,其特征在于其中的 pH 电极 (11) 为工业在线复合电极,pH 电极信号由变送器 (7) 完成硬件滤波输出标准电流或电压信号。

8. 根据权利要求 1 所述的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,其特征在于所述的电动升降机 (13) 的直线运动通过升降杆 (12) 和传感器卡盘 (10) 转化为 pH 电极 (11) 和滴头 (22) 的直线运动。

9. 根据权利要求 2 所述的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,其特征在于所述的滴定过程其滴定速度由计算机应用程序精确设定控制,所述的终点判断通过建立终点上下限数学模型对终点进行自动判别。

10. 根据权利要求 3 所述的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,其特征在于所述的吸液后间隙自动补偿是指由计算机应用程序控制自动消除滴定管 (17)、三通电磁换向阀 (19)、输液管 (20)、滴头 (22) 中的气体间隙。

一种自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置

技术领域

[0001] 本发明属于生物发酵技术领域,具体涉及一种自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置。

背景技术

[0002] 沼气发酵技术处理有机废弃物可达到环境保护与能源回收的双重效果,从而实现废弃物的资源化、无害化,因此广泛应用于废水处理、畜禽粪便处理、农业固体废弃物处理等。据相关统计资料显示,截止到2011年6月,仅北京市累计建成大中型沼气工程259个,总投资4.3亿元,其中:大中型沼气集中供气工程120个,年产沼气能力为1668万立方米,实现供气村132个,受益农户4万户;规模化养殖场粪污沼气综合利用工程139处。

[0003] 沼气发酵过程是由多种微生物参与,分阶段有序进行的生化代谢过程。其运行稳定性常常受到很多因素的影响,如原料性质、进水负荷、水力停留时间(HRT)等。这些因素发生变化时,发酵的水解酸化过程与产甲烷过程容易波动或失衡,引起酸败的发生。例如,当进水负荷过高时,有机物在短时间内被水解产酸菌降解,产生的有机酸不能及时被产甲烷菌分解,此时若系统缓冲能力过低,碱度不足以中和产生的有机酸,会导致酸抑制甚至酸败现象,最终导致厌氧发酵系统失稳。一旦系统发生严重的失稳,重新恢复不仅需要较大的人力、物力,而且需要较长的时间,甚至无法恢复,这对于连续供气的沼气工程无疑是很大的损失。

[0004] 目前沼气工程普遍采用监测pH值、甲烷产率等常规指标表征发酵稳定性,虽然这些指标易于监测,但由于厌氧发酵体系的缓冲作用,仅靠监测上述常规指标是远远不够的,挥发性脂肪酸(VFA)、碳酸氢盐碱度(TIC)和VFA/TIC可以准确判断出厌氧发酵体系的缓冲能力,从而更直接可靠地反映系统的稳定性。厌氧发酵系统中,常用的VFA的测定方法有滴定法、蒸馏法、比色法和气相色谱法等,碳酸氢盐碱度的测定方法有滴定法和分光光度法等。这些方法多数只能对挥发性有机酸和碳酸氢盐碱度进行分别检测,且对仪器成本和操作人员的知识水平和操作规程要求较高,直接限制了实际沼气工程的推广应用。

[0005] 对于投资巨大、经济效益预期较高的大中型沼气工程,稳定的发酵过程是至关重要的,然而pH值、甲烷产率等常规指标不能直接准确地反映系统的缓冲能力,对系统的稳定性判断具有滞后性,因此有必要研究选用直接可靠判断发酵过程缓冲能力的及时反馈预警沼气工程稳定性的指标——挥发性脂肪酸和碳酸氢盐碱度,有必要研究一套可以精确测定厌氧发酵液的挥发性脂肪酸质量浓度和碳酸氢盐碱度的装置,从而为沼气工程的稳定运行与监测预警提供技术支持。

发明内容

[0006] 经国内外文献检索,未见主要技术特征与本发明一种自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置主要技术特征相同的文献报道,本发明因此提供一种自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置。

[0007] 本发明一种自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,包括电源模块、人机交换模块、数据采集模块、驱动传动模块、吸液/滴液模块,其特征在于电源模块包括交流转直流稳压电源(1),人机交换模块包括计算机(2),数据采集模块包括数据采集卡(6)、变送器(7)、pH电极(11)、传感器卡盘(10)、升降杆(12)和电动升降机(13),驱动传动模块包括运动控制器(3)、驱动器(4)、电控平移台(5)和活塞推杆(8),吸液/滴液模块包括滴定管(17)、三通电磁换向阀(19)、输液管(20)、滴头(22)、滴定池(23)、磁力搅拌器(14)、透气管(26)、补液瓶(28)和补液瓶橡胶塞(27)。

[0008] 本发明的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,其特征在于其中的计算机(2)带有应用程序和驱动程序,滴定过程和终点判断由计算机应用程序自动控制。

[0009] 本发明的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,其特征在于所述的滴定管(17)包括滴定管柱塞(15)、滴定管内保护套(16)和滴定管外罩(18)且三者同轴心,三通电磁换向阀(19)的开闭由计算机应用程序自动精确控制,吸液后间隙自动补偿,脉冲信号A/D转换值与滴定管(17)发送体积值准确对应。

[0010] 本发明的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,其特征在于所述的磁力搅拌器(14)置于滴定池(23)下方,磁力搅拌器(14)的搅拌转速根据样品的自身特性由计算机应用程序精确设定实现自动无极调速。

[0011] 本发明的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,其特征在于所述的电控平移台(5)包括步进电机、多级传动齿轮、刚性联轴器、传动丝杠和滑块,通过多级传动齿轮、刚性联轴器、传动丝杠、滑块和活塞推杆(8),将步进电机的圆周运动转化为滴定管柱塞(15)的直线运动,滑块、活塞推杆(8)及滴定管柱塞(15)三者为刚性链接,上、下限位由定位准确的光电开关和计算机应用程序软件限位同步限位。

[0012] 本发明的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,其特征在于其中的交流转直流稳压电源(1)输入端接220V交流电,输出端接计算机(2)、运动控制器(3)、驱动器(4)、数据采集卡(6)、变送器(7)、电控升降机(13)、磁力搅拌器(14)和三通电磁换向阀(19)。

[0013] 本发明的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,其特征在于其中的pH电极(11)为工业在线复合电极,pH电极信号由变送器(7)完成硬件滤波输出标准电流或电压信号。

[0014] 本发明的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,其特征在于所述的电动升降机(13)的直线运动通过升降杆(12)和传感器卡盘(10)转化为pH电极(11)和滴头(22)的直线运动。

[0015] 本发明的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,其特征在于所述的滴定过程其滴定速度由计算机应用程序精确设定控制,所述的终点判断通过建立终点上下限数学模型对终点进行自动判别。

[0016] 本发明的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,其特征在于所述的吸液后间隙自动补偿是指由计算机应用程序控制自动消除滴定管(17)、三通电磁换向阀(19)、输液管(20)、滴头(22)中的气体间隙。

[0017] 以下详细叙述本发明。

[0018] 本发明一种自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置,包括电源模块、人机交换模块、数据采集模块、驱动传动模块、吸液/滴液模块,结构如图1所示。

[0019] 所述的电源模块包括交流转直流稳压电源(1),交流转直流稳压电源(1)作为电

源供应器,输入端接 220V 交流电,输出端为计算机 (2)、运动控制器 (3)、驱动器 (4)、数据采集卡 (6)、变送器 (7)、电控升降机 (13)、磁力搅拌器 (14) 和三通电磁换向阀 (19) 提供直流电。

[0020] 所述的人机交换模块包括计算机 (2),计算机 (2) 带有应用程序、运动控制器 (3) 驱动程序、数据采集卡 (6) 驱动程序、应用软件驱动程序,滴定过程和终点判断由计算机应用程序自动控制。

[0021] 本发明一种自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置的软件控制:采用 G 语言 (LabVIEW) 编制,以 Windows 为操作平台,通过 RS232 及 USB 总线或 PCI 总线接口形式,采用菜单及软键等人机对话方法,根据滴定样品的种类及特性,提供多个初始化参数设定,保证滴定过程自动准确完成。

[0022] 本发明一种自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置的原理框图如图 2 所示。

[0023] 所述的数据采集模块包括数据采集卡 (6)、变送器 (7)、pH 电极 (11)、传感器卡盘 (10)、升降杆 (12) 和电动升降机 (13),所有电信号传输线采用屏蔽电缆,为确保滴定池 (23) 添加和排出液体预留足够空间,电动升降机 (13) 的直线运动通过升降杆 (12) 和传感器卡盘 (10) 转化为 pH 电极 (11) 和滴头 (22) 的直线运动。

[0024] 所述的驱动传动模块包括运动控制器 (3)、驱动器 (4)、电控平移台 (5) 和活塞推杆 (8)。

[0025] 所述的吸液/滴液模块包括滴定管 (17)、三通电磁换向阀 (19)、输液管 (20)、滴头 (22)、滴定池 (23)、磁力搅拌器 (14)、透气管 (26)、补液瓶 (28) 和补液瓶橡胶塞 (27),所有与滴定液 (29) 接触或可能接触的部件均采用耐酸碱腐蚀材质。

[0026] 所述的 pH 电极 (11) 为工业在线复合电极,带有自动温度补偿功能,pH 电极信号由变送器 (7) 完成硬件滤波输出标准电流或电压信号,输出的标准电流信号或电压信号由数据采集卡 (6) A/D 转换传送至计算机 (2),由计算机应用程序完成软件滤波。

[0027] 所述的电控平移台 (5) 包括步进电机、多级传动齿轮、刚性联轴器、传动丝杠和滑块,通过多级传动齿轮、刚性联轴器、传动丝杠、滑块和活塞推杆 (8),将步进电机的圆周运动转化为滴定管柱塞 (15) 的直线运动,滑块、活塞推杆 (8) 及滴定管柱塞 (15) 三者为刚性链接,上、下限位由定位准确的光电开关和计算机应用程序软件限位同步限位。

[0028] 所述的滴定管 (17) 包括滴定管柱塞 (15)、滴定管内保护套 (16) 和滴定管外罩 (18) 且三者同轴心,三通电磁换向阀 (19) 的开闭由计算机应用程序自动精确控制,吸液后间隙自动补偿,脉冲信号 A/D 转换值与滴定管 (17) 发送体积值准确对应。

[0029] 所述的磁力搅拌器 (14) 置于滴定池 (23) 下方,磁力搅拌器 (14) 的搅拌转速根据样品的自身特性由计算机应用程序精确设定实现自动无极调速。

[0030] 所述的滴定过程其滴定速度由计算机应用程序精确设定控制,所述的终点判断通过建立终点上下限数学模型对终点进行自动判别。

[0031] 所述的吸液后间隙自动补偿是指由计算机应用程序控制自动消除滴定管 (17)、三通电磁换向阀 (19)、输液管 (20)、滴头 (22) 中的气体间隙。

[0032] 本发明一种自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置的应用软件采用 G 语言 (LabVIEW) 编制而成,包括用户操作面板和程序框图代码两部分。其中用户操作面板对应实际仪器的面板实现仪器参数初始化、执行状态显示、数据显示、执行控制及滴定曲线实时显示等功

能,程序框图代码类似于图形化流程图,以数据流的形式响应和实现操作面板的各项功能。软件总体设计框图如图 3。

[0033] 系统软件为全汉化版本,程序修改方便、灵活性强,且具有自报错功能。对经常使用的操作功能键进行了集成优化,提高了操作效率,且随着程序执行,相应的功能键被禁用,以防止误操作。为了更直观可靠的判断滴定过程的执行情况,程序设计了滴定实时状态和滴定实时曲线显示功能实时反映滴定过程。当系统没有得到运行指令时,总是保留在等待状态,当初始化参数设置完成后发出运行指令,则按照初始化参数跳转到需要的状态,执行状态中的程序。自动滴定程序流程如图 4。

[0034] 本发明一种自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置的主要技术指标如下:

[0035] (1)pH 测量范围:0 ~ 14

[0036] (2) 温度范围:-5 ~ 60℃

[0037] (3) 数据采集频率: $\geq 1\text{KHz}$

[0038] (4) 滴定 / 吸液速度:100 ~ 500000PPS

[0039] (5) 滴定管滴液精读:滴液体积的 $\pm 0.1\%$

[0040] (6) 碳酸氢盐碱度测量范围: $\geq 200\text{mg CaCO}_3/\text{L}$,挥发性脂肪酸质量浓度测量范围: $\geq 200\text{mg CH}_3\text{COOH}/\text{L}$

[0041] (7) 测量基本误差:读数的 $\pm 5\%$

[0042] 本发明一种自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置可用于测定厌氧发酵液的 pH、碳酸氢盐碱度和挥发性脂肪酸的质量浓度,还可用于其他样品的滴定。

[0043] 国内近年来尝试采用自动滴定仪测定厌氧发酵液中的碳酸氢盐碱度和挥发性脂肪酸的质量浓度,但是这些滴定仪均不能通过一次滴定完成对碳酸氢盐碱度和挥发性脂肪酸的质量浓度的同时测定,而且只能记录滴定开始至滴定终点消耗的滴定液体积,需要人为计算厌氧发酵液中的碳酸氢盐碱度和挥发性脂肪酸的质量浓度。

[0044] 本发明的一种自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置用于测定厌氧发酵液中的碳酸氢盐碱度和挥发性脂肪酸的质量浓度,有效避免了手动滴定人为误差,提高了工作效率,降低了劳动强度。同时与传统的自动滴定相比,厌氧发酵液中的碳酸氢盐碱度和挥发性脂肪酸的质量浓度可通过一次滴定得到准确测定,操作更简便,成本更低,滴定显示实时直观。

[0045] 本发明通过测定厌氧发酵液中的碳酸氢盐碱度和挥发性脂肪酸的质量浓度可以及时有效预警沼气工程中可能出现的系统酸化(失稳),为操作人员采取相应措施防止沼气发酵系统彻底失稳提供参考。

附图说明

[0046] 图 1 为本发明所述的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置结构示意图。

[0047] 图 2 为本发明所述的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置的原理框图。

[0048] 图 3 为本发明所述的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置的软件总体设计框图。

[0049] 图 4 为本发明所述的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置的自动滴定程序流程图。

[0050] 图 1 中,1 为交流转直流稳压电源,2 为计算机,3 为运动控制器,4 为驱动器,5 为电控平移台,6 为数据采集卡,7 为变送器,8 为活塞推杆,9 为电信号传输方向,10 为传感器卡盘,11 为 pH 电极,12 为升降杆,13 为电控升降机,14 为磁力搅拌器,15 为滴定管柱塞,16 为

滴定管内保护套,17 为滴定管,18 为滴定管外保护套,19 为三通电磁换向阀,20 为输液管,21 为滴液液流方向,22 为滴头,23 为滴定池,24 为样品,25 为吸液液流方向,26 为透气管,27 为补液瓶橡胶塞,28 为补液瓶,29 为滴定液。

具体实施方式

[0051] 以下结合实施例详细地说明本发明。实施方案为便于更好的理解本发明,但并非对本发明的限制。

[0052] 实施例 1

[0053] 打开电源开关,计算机自动进入应用程序登录界面,用户成功登录后,计算机进入应用程序用户操作界面,并自动完成设备初始化,在计算机上给定所有的滴定条件。取 50mL 人工配置的挥发性脂肪酸 (VFA) 和碳酸氢盐碱度 (TIC) 混合模拟样品溶液 (其中 VFA 采用 CH_3COONa 溶液配置, TIC 采用 NaHCO_3 溶液配置), 启动用户操作界面上的运行按钮。应用程序按用户设定的滴定条件自动控制 0.2mol/L 的稀硫酸溶液对混合模拟样品溶液进行滴定, 本发明自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置自动确定滴定终点, 并在计算机上实时显示滴定状态和滴定曲线, 滴定结束后, 应用程序自动计算、保存及显示滴定数据。同时采用传统手动滴定对混合模拟样品溶液进行滴定, 并与本发明自动滴定数据进行比较分析 (表 1), 本发明的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置滴定碳酸氢盐碱度的结果相对标准偏差在 1.5% 以内, 精度在 98.5% 以上, 滴定挥发性脂肪酸质量浓度的结果相对标准偏差在 5% 以内, 精度在 95% 以上, 滴定精度高, 与手动滴定结果相比, 自动滴定精度高于手动滴定。

[0054] 表 1 模拟样品溶液滴定结果

[0055]

R(VFA/TIC)		R(TIC)			R(VFA)		
理论值	理论值 (mg 碳酸钙/L)	平均值 (mg 碳酸钙/L)	相对标准偏差 (%)	理论值 (mg 乙酸/L)	平均值 (mg 乙酸/L)	相对标准偏差 (%)	
0.1	手动	2500	2579.0	0.52	250	155.7	21.58
	自动		2575.6	0.50		105.0	4.48
0.3	手动	3500	3780.5	0.56	1050	811.4	7.03
	自动		3800.8	1.32		914.6	2.26
0.5	手动	6500	7299.5	0.54	3250	2743.6	3.13
	自动		7349.5	0.90		2671.0	3.10
0.7	手动	9500	11091.0	0.44	6650	5691.8	2.02
	自动		11372.9	1.26		5715.1	1.94
0.9	手动	12500	14990.5	0.74	11250	9559.6	2.32
	自动		15511.9	1.24		9558.5	2.15

[0056] 实施例 2

[0057] pH 电极标定后, 插入滴定池样品溶液一下, 联机初始化。取 80mL 以猪粪为原料的厌氧发酵液, 启动用户操作界面上的运行按钮。应用程序按用户设定的滴定条件自动控制 0.2mol/L 的稀硫酸溶液对混合模拟样品溶液进行滴定, 本发明自动滴定厌氧发酵缓冲

能力的装置自动确定滴定终点,并在计算机上实时显示滴定状态和滴定曲线,滴定结束后,应用程序自动计算、保存及显示滴定数据,滴定结果为挥发性脂肪酸质量浓度为 401.9mg $\text{CH}_3\text{COOH/L}$,碳酸氢盐碱度为 7838.1mg CaCO_3/L 。采用传统手动滴定滴定结果为挥发性脂肪酸质量浓度为 407.0mg $\text{CH}_3\text{COOH/L}$,碳酸氢盐碱度为 7856.0mg CaCO_3/L 。采用气相色谱仪检测猪粪厌氧发酵液的挥发性脂肪酸质量浓度为 399.7mg $\text{CH}_3\text{COOH/L}$,采用总有机碳分析仪检测猪粪厌氧发酵液的碳酸氢盐碱度为 7843.1mg CaCO_3/L 。本发明的自动滴定厌氧发酵缓冲能力的装置滴定挥发性脂肪酸质量浓度和碳酸氢盐碱度的结果相对标准偏差分别为 4.64%和 1.55%,精密度均高于手动滴定值。

[0058] 最后还需注意的是,以上描述的仅是本发明的具体实施例子。显然,本发明不限于以上实施例子,本发明的保护范围是由所附权利要求书限定的。本领域的技术人员能从本发明公开的内容直接导出或联想到所有的变形,但所有这些变形均落入本发明的保护范围。

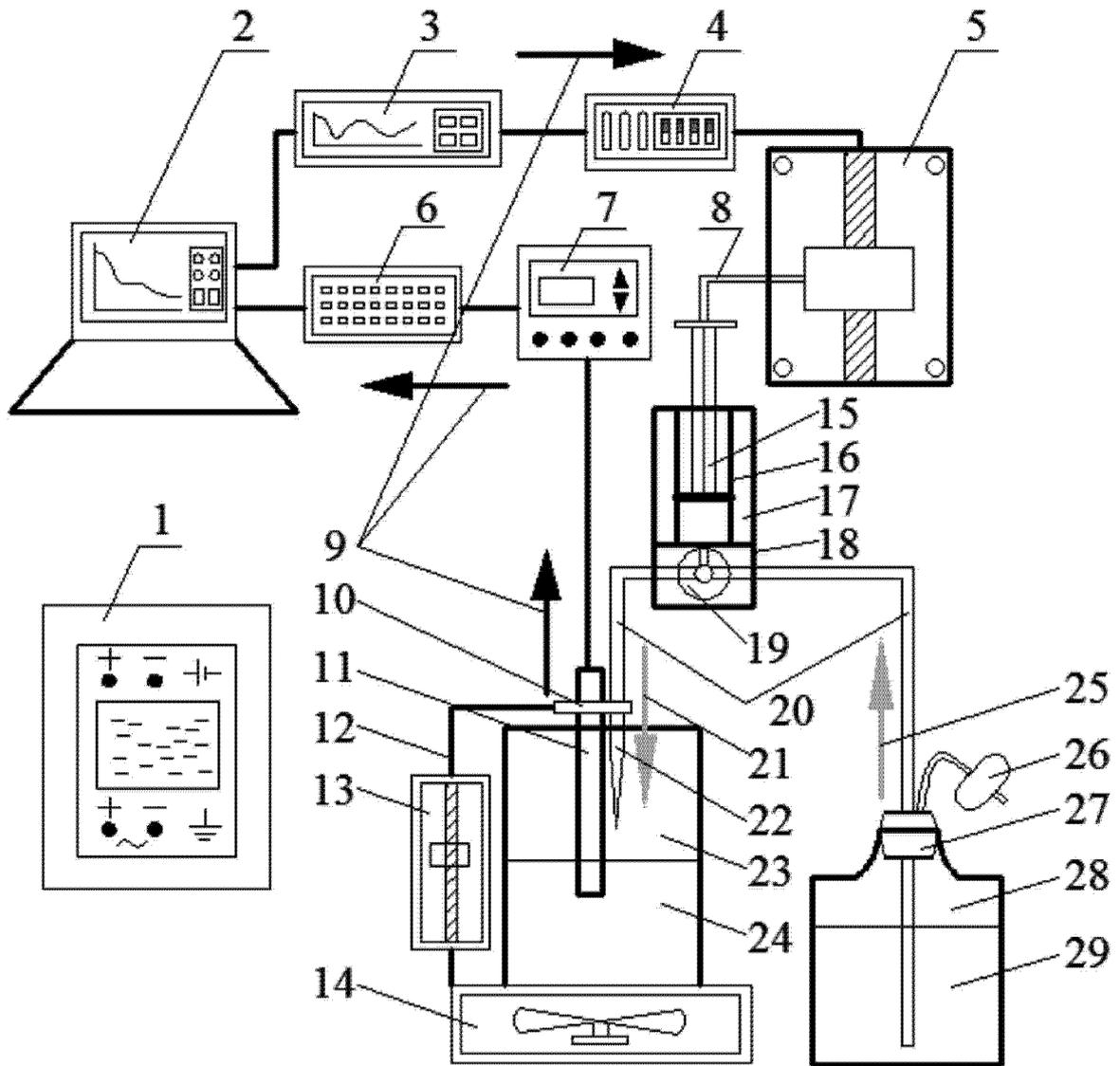


图 1

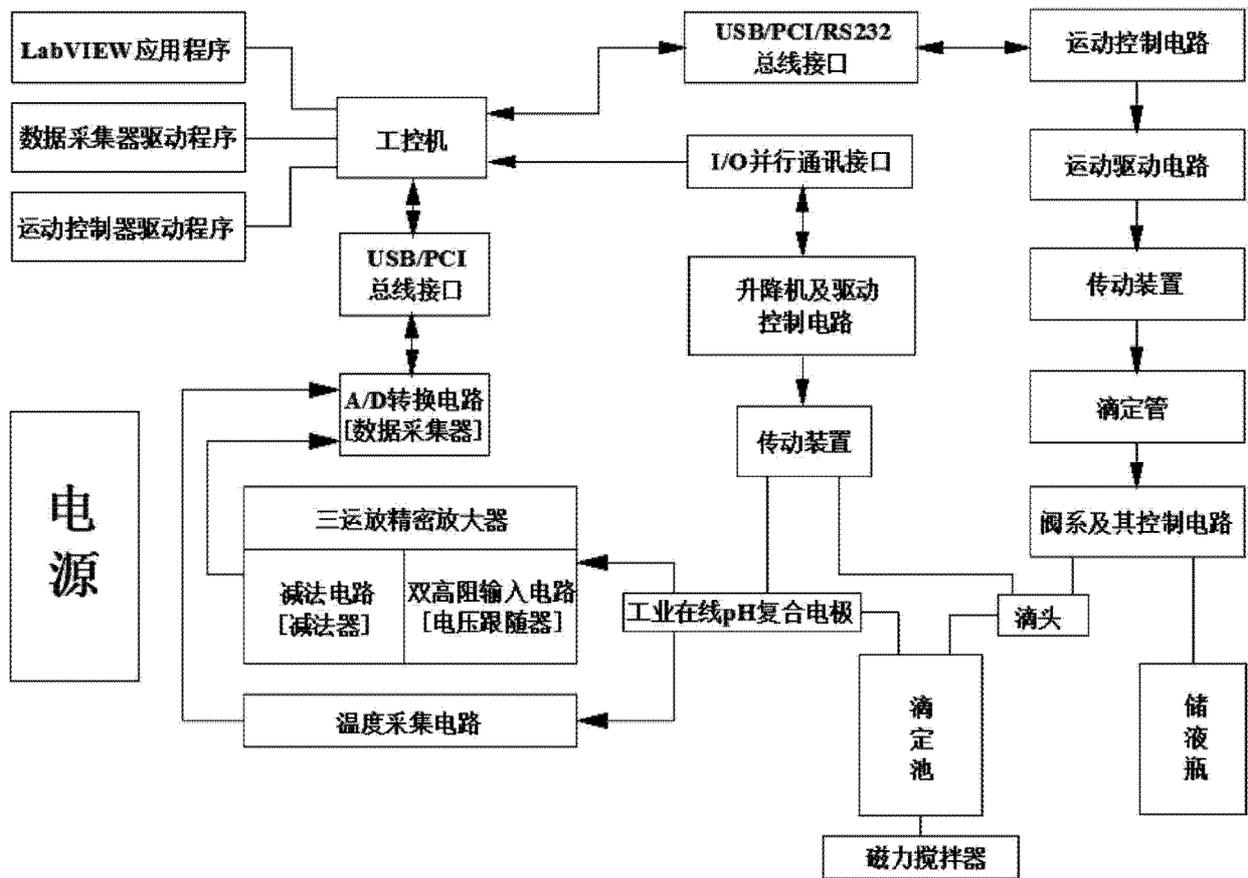


图 2

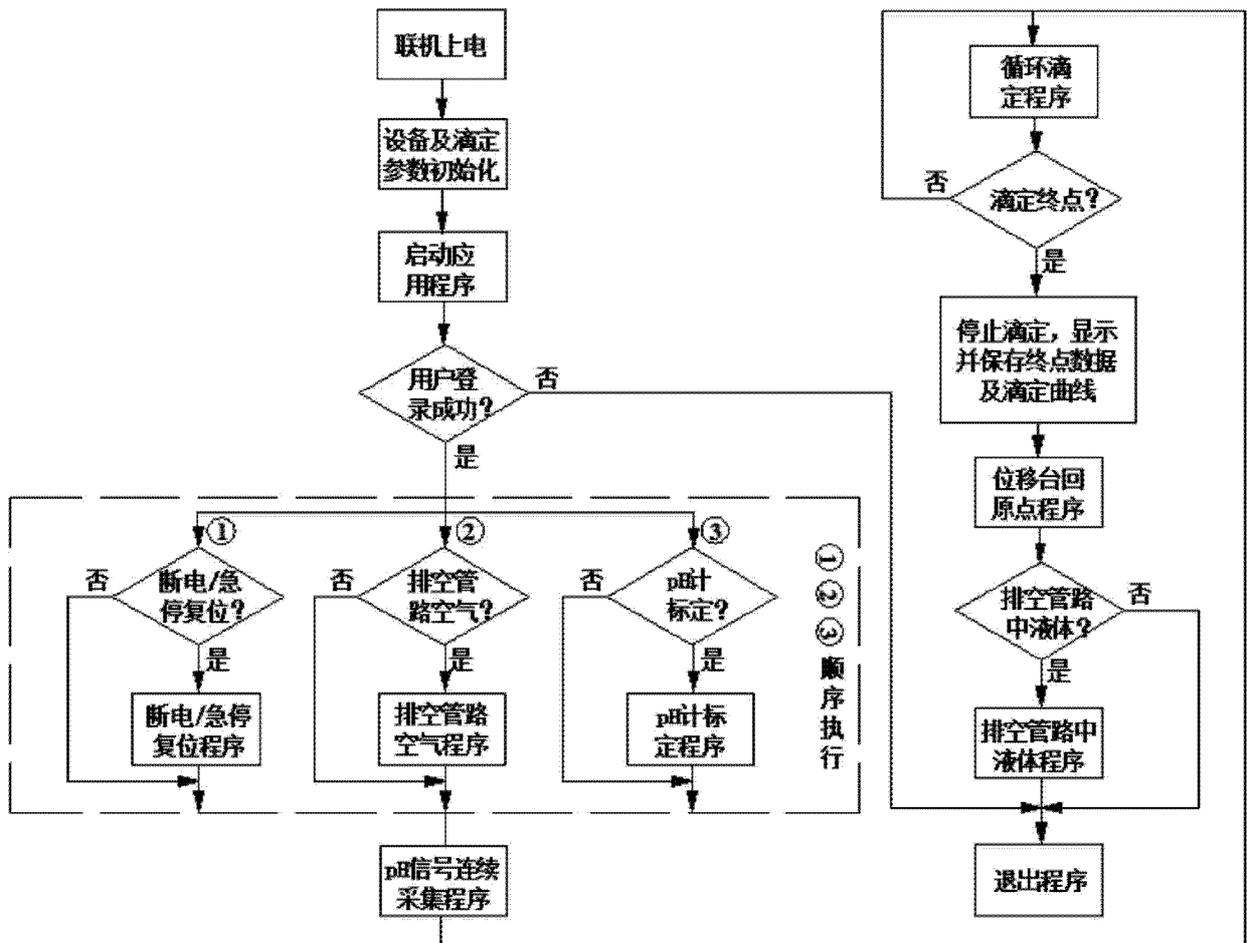


图 3

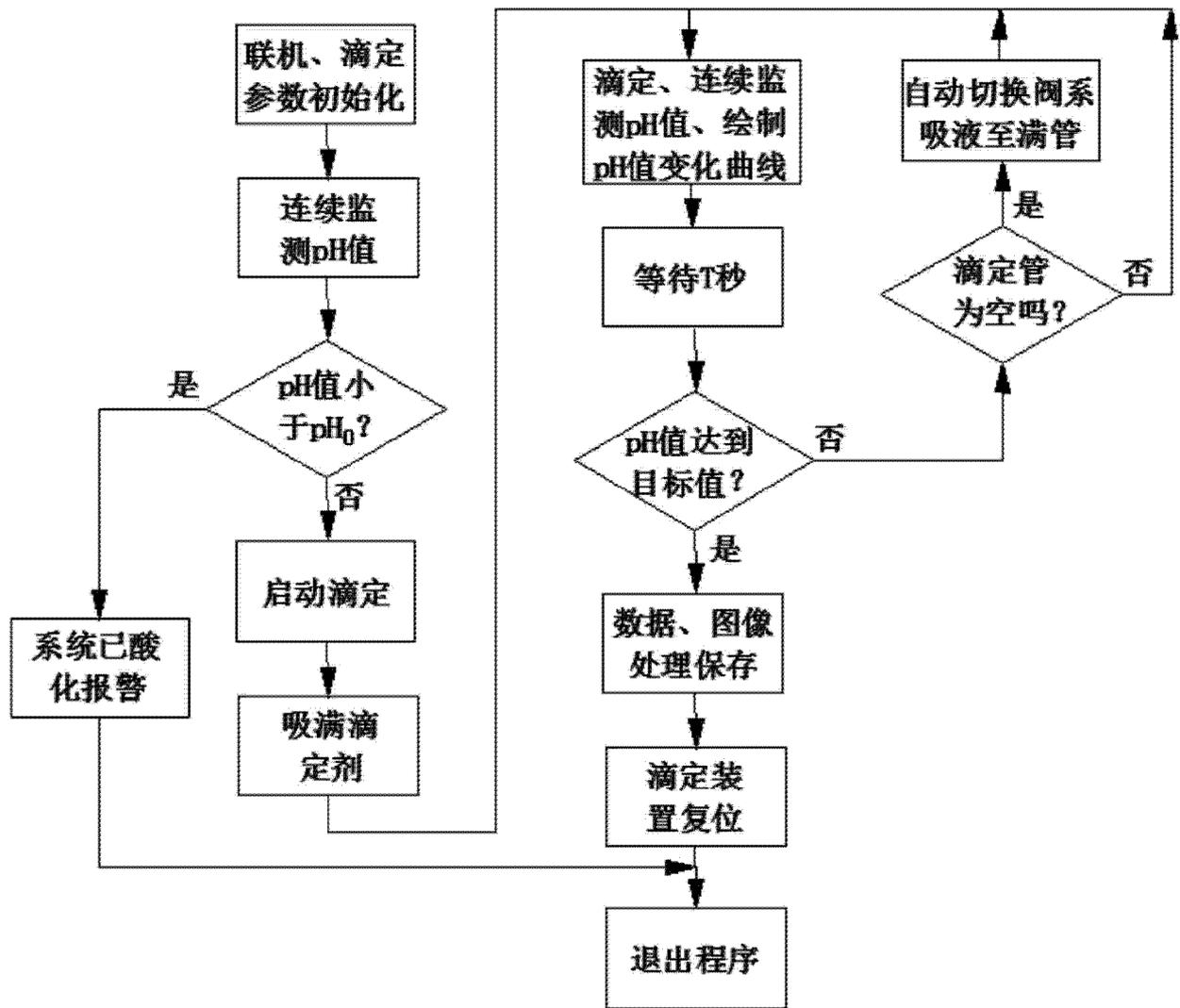


图 4