



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107991460 A

(43)申请公布日 2018.05.04

(21)申请号 201711188438.7

(22)申请日 2017.11.16

(71)申请人 吉林大学

地址 130012 吉林省长春市前进大街2699号

(72)发明人 黄东岩 朱龙图 贾洪雷 陈鹏 王增辉 王奇 李名伟 庄健

(51)Int.Cl.

G01N 33/24(2006.01)

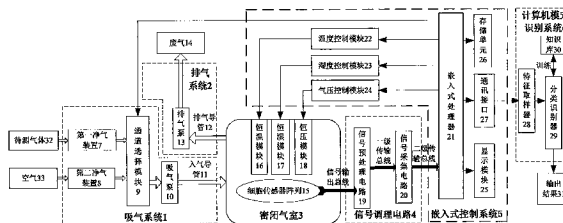
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种基于仿生嗅觉的土壤养分快速检测装置

(57)摘要

一种基于仿生嗅觉的土壤养分快速检测装置属于土壤养分检测技术;所述装置由吸气系统、排气系统、密闭气室、信号调理电路、嵌入式控制系统和计算机模式识别系统装配构成,通过该装置对土壤所散发的待测气体分子产生敏锐的响应,实现对土壤养分的快速检测,解决目前土壤养分快速检测方法受土壤含水率、土壤质地和土壤粒度影响的弊端,具有土壤养分的快速、准确、无损检测的特点。



1. 一种基于仿生嗅觉的土壤养分快速检测装置,其特征在于:所述检测装置包括吸气系统(1)、排气系统(2)、密闭气室(3)、信号调理电路(4)、嵌入式控制系统(5)和计算机模式识别系统(6);

①、所述吸气系统(1)由第一净气装置(7)、第二净气装置(8)、通道选择模块(9)、吸气泵(10)及入气导管(11)构成,其中,第一净气装置(7)用于净化待测气体(32),第二净化装置(8)用于净化空气(33),第一、二净气装置(7、8)分别与通道选择模块(9)连通,吸气泵(10)分别与通道选择模块(9)和入气导管(11)连通;

②、所述排气系统(2)包括排气泵(13),所述排气泵(13)与排气导管(12)连通,用于排出废气(14);

③、所述密闭气室(3)为正方形或长方形腔体,在正方形或长方形的密闭气室(3)内分别安装细胞传感器阵列(15)、恒温模块(16)、恒湿模块(17)和恒压模块(18);所述细胞传感器阵列(15)是一种将果蝇离体嗅觉神经细胞培养在拥有 $n \geq 16$ 个微电极的MEAs阵列芯片表面而形成的生物-电子复合传感器阵列, $n \geq 16$ 个微电极构成信号输出总线;

④、所述信号调理电路(4)包括相互连通的信号预处理电路(19)和信号采集电路(20);所述信号预处理电路(19)由 $n$ 个阻抗匹配电路(34)和 $n$ 个信号变换电路(35)组成,所述 $n$ 个阻抗匹配电路(34)的输出端依次一对一的与 $n$ 个信号变换电路(35)的输入端连接, $n$ 个信号变换电路(35)的输出端构成一级传输总线,一级传输总线与信号采集电路(20)的输入端连接,所述信号采集电路(20)由 $n$ 个采样/保持电路(36)和 $n$ 个A/D转换电路(37)组成, $n$ 个采样/保持电路(36)的输出端与 $n$ 个A/D转换电路(37)的输入端一对一连接,所述 $n$ 个A/D转换电路(37)的输出端构成二级传输总线;

⑤、所述嵌入式控制系统(5)包括嵌入式处理器(21)、温度控制模块(22)、湿度控制模块(23)、气压控制模块(24)、显示模块(25)、存储单元(26)及通讯接口(27),所述温度控制模块(22)、湿度控制模块(23)、气压控制模块(24)、显示模块(25)、存储单元(26)及通讯接口(27)分别与嵌入式处理器(21)的I/O连接;

⑥、所述计算机模式识别系统(6)由特征取样器(28)、分类识别器(29)和知识库(30)构成,所述分类识别器(29)分别与特征取样器(28)和知识库(30)连接;

所述吸气系统(1)的吸气泵(10)与密闭气室(3)连通,所述吸气系统(1)的通道选择模块(9)与嵌入式控制系统(5)的嵌入式处理器(21) I/O连接;所述排气导管(12)将密闭气室(3)与排气系统(2)的排气泵(13)连通;密闭气室(3)的细胞传感器阵列(15)通过信号输出总线与信号调理电路(4)的信号预处理电路(19)连接,信号调理电路(4)的信号采集电路(20)通过二级传输总线与嵌入式控制系统(5)的嵌入式处理器(21)连接;所述嵌入式控制系统(5)的温度控制模块(22)、湿度控制模块(23)和气压控制模块(24)分别与密闭气室(3)的恒温模块(16)、恒湿模块(17)和恒压模块(18)连接,嵌入式控制系统(5)的通讯接口(27)与计算机模式识别系统(6)的特征取样器(28)连接。

## 一种基于仿生嗅觉的土壤养分快速检测装置

### 技术领域

[0001] 本发明属于新型传感器技术领域,具体涉及一种基于仿生嗅觉的土壤养分快速检测装置。

### 背景技术

[0002] 精细农业是近年来备受关注而又发展迅速的现代农业体系,作为精细农业核心内容之一的变量施肥技术(包括测土配方施肥技术)旨在基于土壤养分检测信息,结合作物的生长、需肥规律以及土壤养分供给能力,制定施肥配方,合理施用化肥,全面协调作物营养状况,达到农业生产高产、高效、安全目的。因此土壤养分的快速检测在测土配方施肥中具有重要作用。然而,土壤养分的快速、实时检测一直是现代农业的技术瓶颈,使得测土配方施肥技术的推广受到严重的制约。

[0003] 传统离子选择电极法在进行土壤养分检测时,多采用田间获取样本、实验室分析的方式,存在样品采集困难、分析时效差、检测费用高等问题,很难实现大面积推广应用。土壤电导率测量法具有响应快、成本低、耐久性好等特点,已成为实时获取土壤分布图的一种重要技术。然而,电导率测定仪获得的数据和多个土壤参数关联,不能定量测定土壤养分含量。近红外光谱分析法是近年来新发展的一种土壤养分检测方法,由于其分析速度快、测量精度高、可同时测量多种成分等优点,受到了广泛的研究与应用。然而,近红外光谱易受土壤含水率、土壤质地与土壤粒度等的影响。

[0004] 上述问题已然成为土壤养分检测的技术瓶颈,因此寻找一种新的解决方式显得尤为重要。气味是物质的重要特性之一,能够代表物质的本质。物质所产生的气味就是对外界传播起本质特征的信息,物质的气味最能代表物质的本质。有经验的土壤学家经常利用土壤的气味判定土质的优劣,因此寻找一种对土壤气味敏感的动物,借鉴其嗅觉功能实现土壤养分检测不失为一种有效的途径。苍蝇是一种节肢动物,双翅目,嗅觉系统简单,但嗅觉功能却十分强大,其头部有触须和下颚须两对嗅觉器官,触须能够探测远距离的挥发性气味,下颚须则有助于发现近距离的气味,对腐蚀变质的东西尤为敏感,对土壤腐植质亦敏感。

[0005] 目前,国际采用细胞传感芯片技术的研究已经开始,因发明膜片钳而获得诺贝尔奖的德国学者Erwin Neher在Nature上撰文分析了采用半导体器件检测活细胞生理特性的技术发展前景。Straub等一些著名的学者研究活细胞与微电子技术相结合,并取得了快速的发展。细胞传感器可以直接检测细胞膜上的通道,对于研究细胞生理及其响应机理具有重要的意义。基于平面微电极的细胞芯片,不但能研究神经、心肌细胞生长和电信号传递过程,而且能进行神经网络和其他细胞的电生理检测和分析,为仿生传感器研究和药物、环境以及土壤检测等提供了重要的技术手段。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种基于仿生嗅觉的土壤养分快速检测装置,通过该装置

能够解决目前土壤养分快速检测方法受土壤含水率、土壤质地和土壤粒度影响的弊端,达到利用果蝇嗅觉细胞分子对土壤气味的卓越识别能力实现对土壤养分的快速、准确、无损检测的目的。

[0007] 本发明创造的目的是这样实现的:一种基于仿生嗅觉的土壤养分快速检测装置,所述检测装置包括吸气系统、排气系统、密闭气室、信号调理电路、嵌入式控制系统和计算机模式识别系统;

[0008] ①、所述吸气系统由第一净气装置、第二净气装置、通道选择模块、吸气泵及入气导管构成,其中,第一净气装置用于净化待测气体,第二净化装置用于净化空气,第一、二净气装置分别与通道选择模块连通,吸气泵分别与通道选择模块和入气导管连通;

[0009] ②、所述排气系统包括排气泵,所述排气泵与排气导管连通,用于排出废气;

[0010] ③、所述密闭气室为正方形或长方形腔体,在正方形或长方形的密闭气室内分别安装细胞传感器阵列、恒温模块、恒湿模块和恒压模块;所述细胞传感器阵列是一种将果蝇离体嗅觉神经细胞培养在拥有 $n \geq 16$ 个微电极的MEAs阵列芯片表面而形成的生物-电子复合传感器阵列, $n \geq 16$ 个微电极构成信号输出总线;

[0011] ④、所述信号调理电路包括相互连通的信号预处理电路和信号采集电路;所述信号预处理电路由 $n$ 个阻抗匹配电路和 $n$ 个信号变换电路组成,所述 $n$ 个阻抗匹配电路的输出端依次一对一的与 $n$ 个信号变换电路的输入端连接, $n$ 个信号变换电路的输出端构成一级传输总线,一级传输总线与信号采集电路的输入端连接,所述信号采集电路由 $n$ 个采样/保持电路和 $n$ 个A/D转换电路组成, $n$ 个采样/保持电路的输出端与 $n$ 个A/D转换电路的输入端一对一连接,所述 $n$ 个A/D转换电路的输出端构成二级传输总线;

[0012] ⑤、所述嵌入式控制系统包括嵌入式处理器、温度控制模块、湿度控制模块、气压控制模块、显示模块、存储单元及通讯接口,所述温度控制模块、湿度控制模块、气压控制模块、显示模块、存储单元及通讯接口分别与嵌入式处理器的I/O连接;

[0013] ⑥、所述计算机模式识别系统由特征取样器、分类识别器和知识库构成,所述分类识别器分别与特征取样器和知识库连接;

[0014] 所述吸气系统的吸气泵与密闭气室连通,所述吸气系统的通道选择模块与嵌入式控制系统的嵌入式处理器I/O连接;所述排气导管将密闭气室与排气系统的排气泵连通;密闭气室的细胞传感器阵列通过信号输出总线与信号调理电路的信号预处理电路连接,信号调理电路的信号采集电路通过二级传输总线与嵌入式控制系统的嵌入式处理器连接;所述嵌入式控制系统的温度控制模块、湿度控制模块和气压控制模块分别与密闭气室的恒温模块、恒湿模块和恒压模块连接,嵌入式控制系统的通讯接口与计算机模式识别系统的特征取样器连接。

[0015] 本发明的仿生嗅觉土壤养分快速检测装置能够根据土壤散发的气味对土壤养分进行快速检测,克服了土壤含水率、土壤粒度等检测精度的影响,具有良好的稳定性、可靠性和适用性。

## 附图说明

[0016] 图1是一种基于仿生嗅觉的土壤养分快速检测装置总体结构示意图;

[0017] 图2是信号调理电路中的信号预处理电路结构示意图;

[0018] 图3是信号调理电路中的信号采集电路结构示意图；

[0019] 图4是知识库构建图。

[0020] 图中件号说明：

[0021] 1、吸气系统、2、排气系统、3、密闭气室、4、信号调理电路、5、嵌入式控制系统、6、计算机模式识别系统、7、第一净气装置、8、第二净气装置、9、通道选择模块、10、吸气泵、11、入气导管、12、排气导管、13、排气泵、14、废气、15细胞传感器阵列、16、恒温模块、17、恒湿模块、18、恒压模块、19、信号预处理电路、20、信号采集电路、21、嵌入式处理器、22、温度控制模块、23、湿度控制模块、24、气压控制模块、25、显示模块、26、存储单元、27、通讯接口、28、特征取样器、29、分类识别器、30、知识库、31、输出结果、32、待测气体、33、空气、34、阻抗匹配电路、35、信号变换电路、36、采样/保持电路、37、A/D转换电路、38、土壤样品、39、土壤气味指纹图谱。

### 具体实施方式

[0022] 下面结合附图对本发明的基于仿生嗅觉的土壤养分快速检测装置做更为详尽地说明。

[0023] 一种基于仿生嗅觉的土壤养分快速检测装置，所述检测装置包括吸气系统1、排气系统2、密闭气室3、信号调理电路4、嵌入式控制系统5和计算机模式识别系统6；

[0024] ①、所述吸气系统1由第一净气装置7、第二净气装置8、通道选择模块9、吸气泵10及入气导管11构成，其中，第一净气装置7用于净化待测气体32，第二净化装置8用于净化空气33，第一、二净气装置7、8分别与通道选择模块9连通，吸气泵10分别与通道选择模块9和入气导管11连通；

[0025] ②、所述排气系统2包括排气泵13，所述排气泵13与排气导管12连通，用于排出废气14；

[0026] ③、所述密闭气室3为正方形或长方形腔体，在正方形或长方形的密闭气室3内分别安装细胞传感器阵列15、恒温模块16、恒湿模块17和恒压模块18；所述细胞传感器阵列15是一种将果蝇离体嗅觉神经细胞培养在拥有 $n \geq 16$ 个微电极的MEAs阵列芯片表面而形成的生物-电子复合传感器阵列， $n \geq 16$ 个微电极构成信号输出总线；

[0027] ④、所述信号调理电路4包括相互连通的信号预处理电路19和信号采集电路20；所述信号预处理电路19由 $n$ 个阻抗匹配电路34和 $n$ 个信号变换电路35组成，所述 $n$ 个阻抗匹配电路34的输出端依次一对一的与 $n$ 个信号变换电路35的输入端连接， $n$ 个信号变换电路35的输出端构成一级传输总线，一级传输总线与信号采集电路20的输入端连接，所述信号采集电路20由 $n$ 个采样/保持电路36和 $n$ 个A/D转换电路37组成， $n$ 个采样/保持电路36的输出端与 $n$ 个A/D转换电路37的输入端一对一连接，所述 $n$ 个A/D转换电路37的输出端构成二级传输总线；

[0028] ⑤、所述嵌入式控制系统5包括嵌入式处理器21、温度控制模块22、湿度控制模块23、气压控制模块24、显示模块25、存储单元26及通讯接口27，所述温度控制模块22、湿度控制模块23、气压控制模块24、显示模块25、存储单元26及通讯接口27分别与嵌入式处理器21的I/O连接；

[0029] ⑥、所述计算机模式识别系统6由特征取样器28、分类识别器29和知识库30构成，

所述分类识别器29分别与特征取样器28和知识库30连接；

[0030] 所述吸气系统1的吸气泵10与密闭气室3连通,所述吸气系统1的通道选择模块9与嵌入式控制系统5的嵌入式处理器21I/O连接;所述排气导管12将密闭气室3与排气系统2的排气泵13连通;密闭气室3的细胞传感器阵列15通过信号输出总线与信号调理电路4的信号预处理电路19连接,信号调理电路4的信号采集电路20通过二级传输总线与嵌入式控制系统5的嵌入式处理器21连接;所述嵌入式控制系统5的温度控制模块22、湿度控制模块23和气压控制模块24分别与密闭气室3的恒温模块16、恒湿模块17和恒压模块18连接,嵌入式控制系统5的通讯接口27与计算机模式识别系统6的特征取样器28连接。

[0031] 作业使用时,本发明的土壤养分快速检测装置基于仿生学原理,模仿果蝇的嗅觉处理过程。仿生嗅觉的细胞传感器阵列相当于果蝇的嗅觉初级神经,能够对外界不同的浓度和类型的气味产生对应的响应信号;信号预处理电路则相当于果蝇嗅觉的高级嗅觉神经,它对细胞传感器阵列的响应信号进行滤波、转换等处理;计算机模式识别系统则对应于果蝇的嗅觉中枢神经,能够对根据响应信号的特征作出识别判断。

[0032] 吸气系统1用于选择、净化进入密闭气室3中的气体,即待测气体32或空气33。

[0033] 排气系统2用于排除密闭气室3内的废气。

[0034] 密闭气室3内部的细胞传感器阵列15是将果蝇离体嗅觉神经细胞培养在拥有 $n \geq 16$ 个微电极的MEAs阵列芯片表面而形成的一种生物-电子复合传感器阵列;当细胞传感器阵列15内耦合的嗅觉神经细胞与待测气体32内的气味分子接触时会引起细胞内外离子的跨膜运动,进而在微电极产生微弱的电流,多个微电极上的电流构成了电流信号群 $I_s (I_1, I_2, \dots, I_n)$ 。

[0035] 所述信号预处理电路19的阻抗匹配电路34用于实现细胞传感器阵列15与信号变换电路35之间的阻抗匹配;在信号调理电路19中,电流信号 $I_s$ 经过耦合电容 $C_1$ 接入阻抗匹配电路35;电阻 $R_1$ 和 $R_2$ 可为晶体管 $VT_1$ 提供基极偏置;电阻 $R_e$ 连接在晶体管 $VT_1$ 的射极上,用于稳定晶体管的工作点;VCC是一个直流供电电源。

[0036] 所述信号预处理电路19的信号变换电路35由输入级运算放大器和输出级运算放大器组成,通过耦合电容 $C_2$ 接入阻抗匹配电路34的输出端。该电路的输入级采用高输入阻抗运算放大器CA3130,可以有效减小漏电流,使运算放大器CA3130的同相输入端与反相输入端均为零电位输入,可进一步减小漏电流,一般情况下漏电流能够控制在1pA以下;输出级采用运算放大器CA3140,在电路中被用作反相放大器。信号变换电路35的反馈端从电阻 $R_7$ 和 $R_8$ 之间引出, $R_7$ 和 $R_8$ 分别采用阻值为9.9K $\Omega$ 和100 $\Omega$ 电阻,可使信号变换电路35的反馈灵敏度提高100倍,反馈电压 $U_f$ 与信号变换电路35的输出端的电压 $U_s$ 关系为:

$$[0037] \quad U_f = \frac{R_8}{R_7 + R_8} \cdot U_s = \frac{U_s}{100} \quad (1)$$

[0038] 式中, $R_f$ 为反馈电阻,反馈电压 $U_f$ 与输入电流信号 $I_s$ 的关系为:

$$[0039] \quad U_f = -R_f \cdot I_s \quad (2)$$

[0040] 根据公式(1)、(2),信号变换电路35输出电压 $U_s$ 与微弱电流信号 $I_s$ 的关系为:

$$[0041] \quad U_s = 100 \cdot U_f = -100 \cdot R_f \cdot I_s \quad (3)$$

[0042] 如果使 $R_f = 10G\Omega$ ,则可将1pA的微弱电流信号变换成1V的电压输出。

[0043] 所述信号采集电路20的采样/保持电路36由两个电压跟随器VF1A和VF1B、一个程

控开关S1以及一个蓄能电容C6组成,用于实现输入电压信号的采样与保持。信号采集电路20的A/D转换电路37选用的是具有20位分辨率的ADC芯片,优选的是CS5513芯片。电流信号群 $I_s (I_1, I_2, \dots, I_n)$ 经信号调理电路4处理后,可以转换为电压信号群 $U_s (U_1, U_2, \dots, U_n)$ 。嵌入式处理器21对电压信号群 $U_s (U_1, U_2, \dots, U_n)$ 进行采集与处理后,可得到土壤气味模式向量空间 $X \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 。

[0044] 所述的嵌入式控制系统5用于控制本发明装置工作进程。所述的嵌入式处理器21通过控制通道选择模块9实现待测气体32与空气33进入密闭气室3的切换,通过控制温度控制模块22、湿度控制模块23和气压控制模块24分别实现对恒温模块16、恒湿模块17和恒压模块18的调节,从而使密闭气室3的温度、湿度和气压满足细胞传感器阵列15的最佳工作要求。所述信号采样电路20与嵌入式处理器21分别用于采集和处理经信号调理电路4调理后输出的电压信号群 $U_s (U_1, U_2, \dots, U_n)$ 。

[0045] 所述的计算机模式识别系统6的特征取样器28采用统计学方法在土壤气味模式向量空间 $X \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 通过特征的选择和提取,可形成对应的特征向量空间 $Y \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ ,其中 $m$ 为特征向量空间的维数,取决于特征取样器28的算子公式。分类识别器29是基于人工神经网络与遗传算法融合的土壤气味识别分类软件。选用的网络模型为PB神经网络,并通过运用遗传算法对该PB神经网络的权值、阈值以及网络结构进行优化整定,从而确定最适合的PB神经网络权值、阈值和网络结构。本发明所述知识库30的建立过程为:首先,获取一定量的具有代表性的已知养分组成的土壤样品38,并编类记录;其次,采用本发明装置对试验土壤样品38进行多次学习与训练,以建立土壤气味指纹图谱39,即知识库30。

[0046] 土壤气味指纹图谱39采用比特征向量空间多一维的向量 $V$ 来表示,向量 $V$ 的首位存放已知土壤养分组成的样品类别信息,向量 $V$ 的其余位置则存放样品的特征向量空间 $Y \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ 。

[0047] 训练成功的分类识别器29可根据待测气体32的特征向量与知识库30中的土壤气味指纹图谱39的匹配程度来确定待测气体32的类别;之后,根据检测类别,采用计算机解谱技术输出待测土壤养分检测结果。本发明的基于仿生嗅觉的土壤养分快速检测装置的检测精度与样品知识库的大小密切相关,随着样品知识库的增大,本发明装置的检测精度将越高。

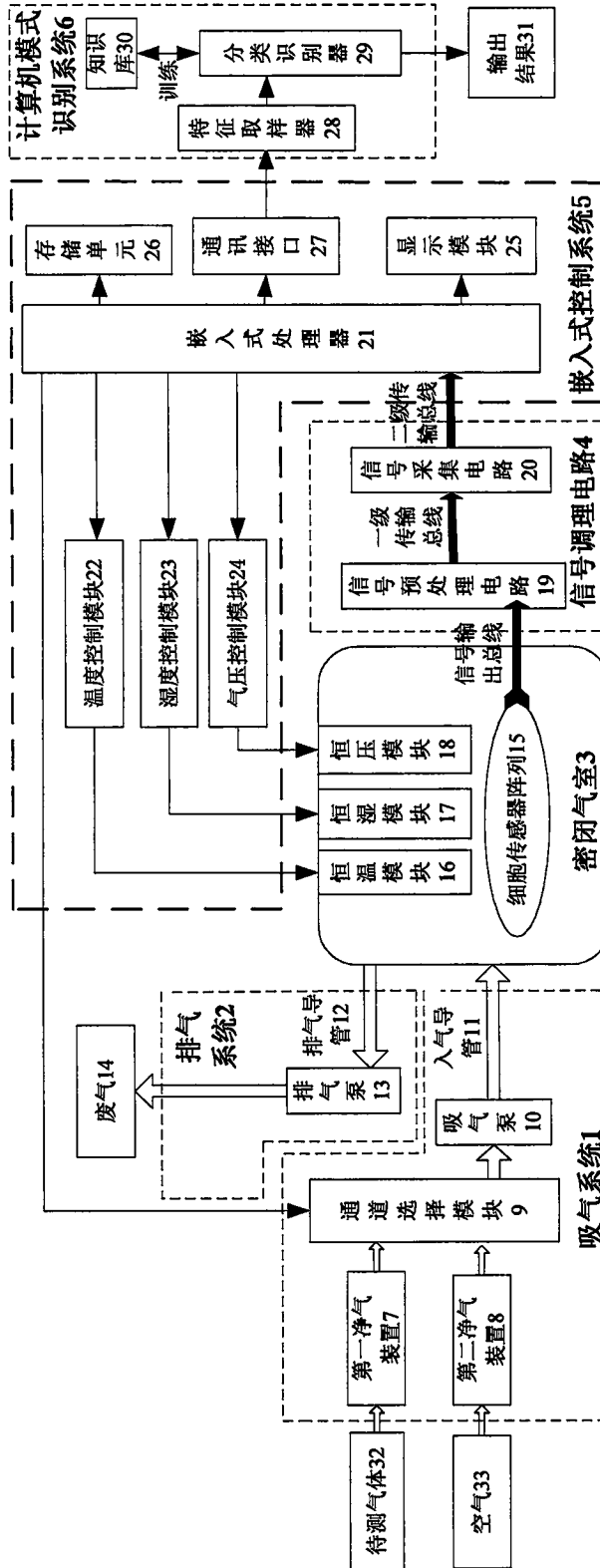


图1



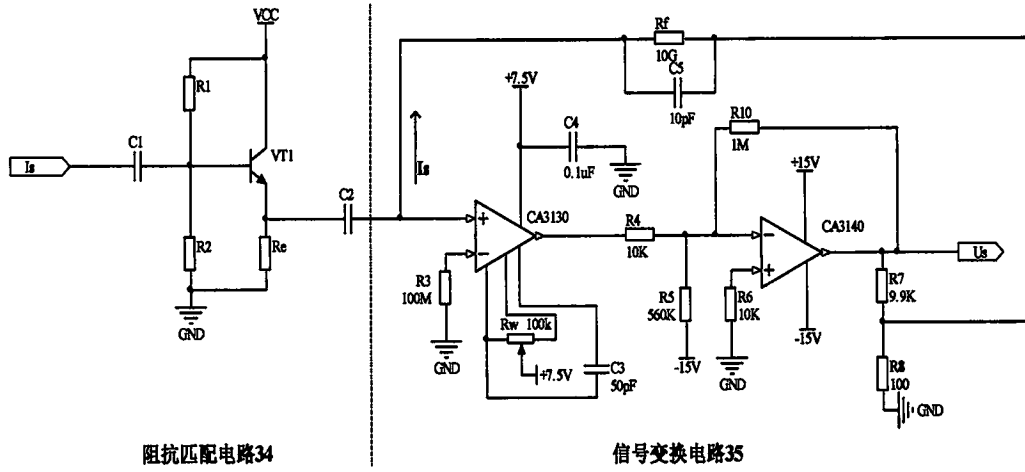


图2

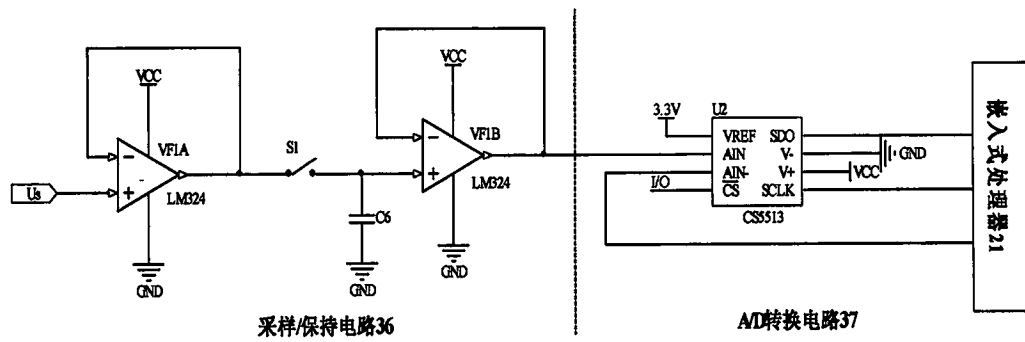


图3

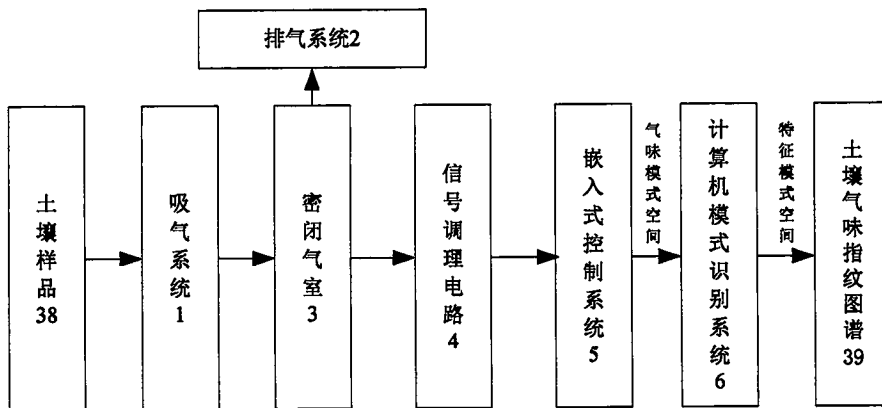


图4