(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107720311 B
(45)授权公告日 2019.09.24

(21)申请号 201710863072.2

(22)申请日 2017.09.19

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107720311 A

(43)申请公布日 2018.02.23

(73)专利权人 中国计量大学
地址 310018 浙江省杭州市下沙高教园区学源街258号

(72)发明人 邹细勇 王月真 穆成银

(51)Int.Cl.
B65G 65/46(2006.01)
B65G 43/00(2006.01)
B65D 88/66(2006.01)

(56)对比文件
CN 101226377 A,2008.07.23,
CN 103350765 A,2013.10.16,
CN 102147282 A,2011.08.10,
CN 102636245 A,2012.08.15,
CN 102962909 A,2013.03.13,
CN 103968924 A,2014.08.06,

审查员 陈菊芳

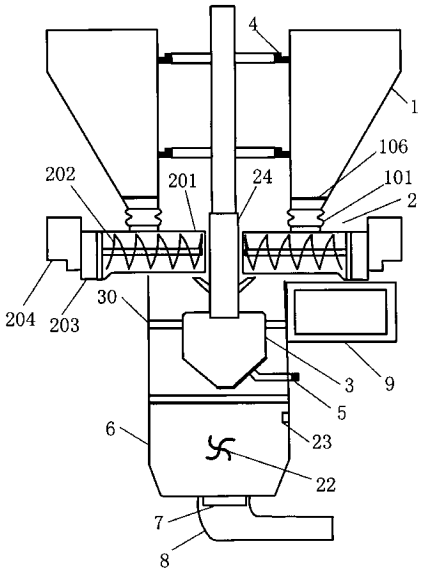
权利要求书3页 说明书12页 附图7页

(54)发明名称

基于神经网络的螺杆失重式物料下料机及其控制器

(57)摘要

本发明公开了基于神经网络的螺杆失重式物料下料机及其控制器，所述下料机包括机架、下料仓和螺旋输送器、混料斗、称重模块、落料阀及控制器。控制器中采用神经网络模块，基于下料仓的料位、落料率、物料密度及螺旋输送器的螺旋叶片直径、螺距和螺杆最大转速对物料失重值进行预测，从而调节螺旋输送器的关闭时间。本发明采用神经网络对下料称重进行建模，训练后的网络能对不同落料状态下的下落物料失重值进行准确预测，从而可直接精确下料且适用于小批量生产；采用仓位传感器和振动杆对下料仓内的物料堆积形态进行检测和调节，减小了落料率波动；通过对下料累积误差的控制，减小了批量下料的总误差；又由于螺杆可保持高运转速度而提升了下料效率。



CN 107720311 B

1.基于神经网络的螺杆失重式物料下料机，其包括机架、下料仓、螺旋输送器、混料斗、称重模块、落料阀、混合料仓和控制器；

所述下料仓安装在固定于机架的称重模块上，其内部有一个仓位传感器；所述螺旋输送器位于下料仓的底部开口处，所述下料仓和螺旋输送器为2～6组；位于螺旋输送器下方的所述混料斗，其底部开口受落料阀控制，且其内壁上安装有一个混料器；所述混合料仓位于落料阀下方，且其底部有一个推板；

所述控制器含有采用动态递归Elman神经网络的神经网络模块，且每一个螺旋输送器都有一个神经网络模块对应，各神经网络模块将所对应下料仓的料位、落料率、物料密度及螺旋输送器的螺旋叶片直径、螺距和螺杆最大转速6个输入量映射为下落物料失重值；控制器通过神经网络模块对下落物料失重值进行预测并基于该预测值修正下料量后对螺旋输送器的关闭时间进行调节；

控制器依次控制各螺旋输送器动作，在完成一次配方量下料后，打开落料阀，然后在检测到混合料仓中的物料累积到设定值后，打开推板，将混合均匀的物料排出；

所述仓位传感器安装在下料仓近机架中心的一个顶角上，且其底部有一个旋转底座；所述机架靠近下料仓侧壁处安装有振动杆，所述振动杆包括依次相连的支柱、云台、振动器、振杆，所述振动器底部有弹簧缓冲器，所述振杆表面分布有颗粒凸起；所述混合料仓的侧壁上安装有一个混合料位传感器，其内部还有一个匀料器，所述匀料器采用螺旋形桨叶，所述推板下方还有一个输料管；

在下料仓底部设置一个缓冲池，其包括阻尼器、伞状体，伞状体包括伞帽和支撑伞帽的伞架；阻尼器采用软连接分段。

2.根据权利要求1所述的基于神经网络的螺杆失重式物料下料机，其特征在于：其还包括一个储料仓和进料泵，所述进料泵后端进料管的出口有一个物料喷头，所述物料喷头为球冠形，其表面分布有圆形小孔；

所述进料泵转速按下式进行控制：

$$V_{进}=\begin{cases}V_{进0} & ,if\ l\le L_m\\ L_M-l\Big/L_M-L_m\cdot V_{进0} & ,if\ L_m\le l\le L_M\\ 0 & ,if\ L_M\le l\end{cases},$$

其中，$V_{进0}$为一设定最大进料速度，l为下料仓当前料位，L_M和L_m分别为所预设的最高、最低下料仓料位。

3.根据权利要求1所述的基于神经网络的螺杆失重式物料下料机，其特征在于：所述混料器包括依次相连的混料底座、两个混料支臂、以及连接两个混料支臂的混料支臂转轴、混料爪手转轴和混料爪手。

4.根据权利要求1所述的基于神经网络的螺杆失重式物料下料机，其特征在于：所述混料器包括混料转轴、安装在混料转轴上的混料转盘和螺旋叶片，以及支撑混料转轴的混料撑架。

5.根据权利要求1所述的基于神经网络的螺杆失重式物料下料机，其特征在于：所述下料仓底部有一个抽板；所述螺旋输送器包括螺杆箱、输送螺杆、连接器和电机，所述电机外壳通过连接器与螺杆箱相连，位于螺杆箱内的输送螺杆通过轴套与电机轴相连，螺杆箱上

表面相对下料仓底部开口处有一进料口，螺杆箱与电机相对的另一端部还连接有一个竖直放置的下料管。

6.根据权利要求1所述的基于神经网络的螺杆失重式物料下料机，其特征在于，所述控制器采用如下方式对螺旋输送器的运转速度进行控制：

A、从停止状态以$\mu \cdot a_{max}$加速度起动，当速度达到$\lambda \cdot v_R$时保持速度不变；

B、当关闭时间到时，以$\mu \cdot a_{max}$加速度开始减速，直至停止；

其中，a_{max}为螺旋输送器的螺杆额定最大加速度，v_R为最大速度，μ为(0.5～0.9)之间的加速度系数，λ为(0.85～1.0)之间的速度系数；

所述关闭时间是指，当前从称重模块读取到的已下料重量等于：$Ws\text{-}Wa\text{-}\frac{1}{2}\cdot\lambda\cdot d\cdot t_s$；

其中，Ws和Wa分别为当前物料一次下料量和下落物料失重预测值，d为螺杆以最大速度运转时螺旋输送器的下料速率，t_s为减速停止时间长度，$t_s=\lambda \cdot v_R/\mu \cdot a_{max}$。

7.根据权利要求1～6任何一项所述的基于神经网络的螺杆失重式物料下料机，其特征在于，所述神经网络的模型为：

$xc_k(t)=x_k(t\text{-}mod(k,q)\text{-}1)$，

$$x_j(t)=f\left(\sum_{k=1}^{m}\omega_{jk}\cdot xc_k(t)+\sum_{i=1}^{5}\omega_{ji}\cdot u_i(t\text{-}1)-\theta_j\right),$$

$$y(t)=f\left(\sum_{j=1}^{m}\omega_j\cdot x_j(t)-\theta\right),$$

其中，mod为求余函数，f( )函数取为sigmoid函数；$xc_k(t)$为承接层输出，$x_j(t)$为隐含层输出，$u_i(t\text{-}1)$和$y(t)$分别为输入层输入和输出层输出，ω_j、ω_{jk}和ω_{ji}分别为隐含层到输出层的连接权值、承接层到隐含层的连接权值和输入层到隐含层的连接权值，θ和θ_j分别为输出层和隐含层阈值；k＝1,2,...m，q为所选定的回归延时尺度，根据采样周期和下料速率选取；j＝1,2,...m，i＝1,2,...6，隐含层及承接层节点数m在11～20之间选择。

8.根据权利要求1所述的基于神经网络的螺杆失重式物料下料机，其特征在于：除了下落物料失重值的预测值，修正下料量时还要计入当前累积下料误差。

9.基于神经网络的螺杆失重式物料下料机控制器，用于权利要求1-8任一项所述的螺杆失重式物料下料机，其特征在于，其包括信号采集模块、处理模块、神经网络模块、迭代学习模块、存储模块、第一连接阵、第二连接阵和输出模块，所述信号采集模块分别通过下料仓中仓位传感器和承载下料仓的称重模块来实时采集下料仓料位、下料仓重量的传感信号并传输给处理模块进行数据处理与分析，存储器用于数据保存；

所述神经网络模块采用动态递归Elman神经网络，其输入层分别从处理模块接收下料仓料位、落料率、物料密度及螺旋输送器的螺旋叶片直径、螺距和螺杆最大转速6个输入量，输出层的输出量分别通过第一连接阵和第二连接阵传输至迭代学习模块和处理模块；

离线训练所述神经网络时，迭代学习模块根据处理模块和神经网络分别通过第一连接阵输入的下落物料失重实际值和网络输出值，调整神经网络的连接权值；

在线控制下料时，第一连接阵断开，神经网络对下落物料失重值进行预测并经第二连接阵输出给处理模块，由处理模块处理分析后通过输出模块对下料仓底部开口处的螺旋输送器进行关闭控制；

所述控制器分别通过仓位传感器的检测和对单位时间下料率的跟踪来判断下料仓内物料的分布，当仓位传感器在不同方位检测到的物料距离值经检测射线与竖直方向倾角的几何变换后超出一个较小的范围、或者发现单位时间下料量波动超过设定阈值后，命令振动杆动作。

基于神经网络的螺杆失重式物料下料机及其控制器

技术领域

[0001] 本发明涉及定量下料领域，具体涉及一种基于神经网络的螺杆失重式物料下料机及其控制器。

背景技术

[0002] 在工农业制造和商品包装中，有大量的粉粒物料，如铁精矿、煤粉等炼铁原料，聚丙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯、轻甲基纤维素、聚丙烯睛、环氧树脂粉末涂料等化工原料，石英砂、水泥等建材原料，洗衣粉等日用化工产品，小米、大豆等谷物豆类农产品，或粉、渣、粒状加工食品，饲料、化肥、农药等农业生产物料，以及粉粒状的保健品、中西药剂、调味品等均需要自动定量包装或者配料制造。

[0003] 目前我国有很多企业仍然采用手工定量配料或者包装，一方面劳动强度大，速率慢，经济效益差；另一方面，食品、药品等手工定量往往不能满足卫生要求，有毒有害的物料，人工参与定量容易对人体造成伤害。因此对生产企业来说，急需提供价廉的具有较高速率和准确度的多组份自动定量下料设备或者装置，满足大量的物料定量包装或者配料制造要求。

[0004] 目前国内外粉粒物料自动定量下料装置常用方法有两种，容积式和称重式。容积式定量依据物料容积进行计量充填或者投料，定量投料迅速，但定量物料质量受到物料密度变化而变化。为提高下料精度，出现了多种调节方法，如申请号为201320001933.3的中国专利，对螺杆采用变频调速，在接近目标值逐渐减慢喂料速度，减少空中落差值；申请号为201310234280.8的中国专利，在纯碱包装机三速变频给料工艺中采用大小螺杆分多阶段下料；申请号为200920248298.2的中国专利考虑到快速下料时难以控制定量而通过先快后慢的方法来减小供料落差的影响；这些非称重式方案的下料终值只能接近期望值，准确度不高。

[0005] 称重式定量依据物料质量进行计量充填或者投料，从称重计量方法的不同其又可分为增量式与失重式两种。增量式对不断下落到计量斗中的物料进行称重，这种方式需要在下料过程中不断称重，根据称重结果反馈控制下料量，由于物料是连续下落的，当下料阀门关闭时，仍有部分物料在空中。为了补偿空中物料对计量精度的干扰，很多方案采用提前关闭阀门的技术，如申请号为201410230888.8的中国专利将配料称重过程划分为三个阶段，并在最后一个阶段采用迭代学习控制方式来计算关闭提前控制量。

[0006] 相比于增量式，失重式称重方式通过不断称取料仓重量来计量下落物料的重量，从而避开了空中物料的问题。如申请号为200710142591.6、201010108011.3和201310178558.4的中国专利，均通过称重仓重量减小的计算来对下落物料进行计量，这些方案虽然无需考虑空中量，但由于未考虑物料从下料阀门落下时的失重效应而影响了称重计量的精度，不能满足高精度下料的要求，并且这些方案只能连续下料而不能直接应用于按批次的下料。

[0007] 相比以往的失重式计量下料，如果能通过对影响下落物料失重等效值各种因素的

分析来构造一种非线性映射，则可以基于这种映射对失重式称重过程中物料的实际下料量进行计量。

发明内容

[0008] 传统的失重秤是通过在工作时控制重量损失的原理实现计量的，对出料装置和称重料斗进行称重，根据失重秤计量斗内每单位时间内物料重量的减少ΔG/Δt来计算失重秤的给料流量。以往的失重称重方法，虽然是通过差分方法来获得流量，但是在两次差分之间的落料流率变化、物料粘结、以及环境如振动等因素的影响，都会影响差分结果的准确性。

[0009] 从下料方式来分析，普通失重称重计量一般采用螺旋输送机作为出料装置，只能动态调节连续运行时的下料速率，而无法直接进行分批次的定量下料；失重式称重的称量精度和配料速度这两个参量是两个相互矛盾的控制量，要提高称量精度，希望秤体越稳定越好，即喂料速度越慢越好，但势必增加配料时间，效率低；反之，如果喂料速度过快，精度很难保证。

[0010] 而单纯的螺杆式送料器属于容积式定量范畴，其结构简单，成本低，但定量充填速度稳定性及精度依赖于物料视比重的稳定性，受物料松散程度、颗粒均匀程度等的影响较大。由于普通容积式本质上是换算式的，无法像称重式一样掌握下料的确切质量，后来虽然出现了结合称重的方案，但由于没有空中量预测而只能依靠下料最后阶段极低的送料速度来保证精度。

[0011] 考虑到失重式称重不需要考虑空中量的优势，本发明方案将其结合到分批次下料的控制中。但由于下料过程中物料非零速度的下落会对称重计量造成影响，从而使得称重读数不同于静态称重。这种物料非零速度的下落造成的动态冲击，即下落物料失重值，其影响因素很多，如输送装置关闭速度、物料下落形态、流率等，因而通过动态称重来获取静态重量的转换方案难以通过离线实验一次性确定。

[0012] 根据对失重式称重下料过程深入的测试与分析，总结出螺杆失重式物料下料机其下落物料失重值最主要的影响因素包括：下料仓料位、落料率、物料密度及螺旋输送器的螺旋叶片直径、螺距和螺杆最大转速。下落物料失重值是这些物理量的复杂非线性映射，为了对下落物料失重值进行预测并进而通过调节螺旋输送器关闭时间来进行精确的下料，需要辨识并表达该映射关系。

[0013] 基于线性系统理论对系统进行辩识并修正参数的方法能较好地应用于线性系统，但无法适用于复杂的非线性系统。人工神经网络是由大量处理单元广泛互连而成的网络，具有很强的自适应、自组织、自学习能力，在系统建模、辨识与控制中受到普遍重视，其所具有的非线性变换特性为系统辨识尤其是非线性系统的辨识提供了有效的方法。

[0014] 目前，非线性系统辩识中应用最多的是多层前向网络，多层前向网络具有逼近任意连续非线性函数的能力，但这种网络结构一般是静态的，从物料下落过程分析可以看出，由于下料仓料位是逐渐变化的，因此，连续两个采样周期中下落物料失重值之间也有着紧密的联系。为此，本发明的控制器中采用动态递归神经网络来对系统进行建模。与静态前馈型神经网络不同，动态递归网络通过存储内部状态，使其具备映射动态特征的功能，从而使系统具有适应时变特性的能力，更适合于非线性动态系统的辩识。本发明方案中，基于动态

递归Elman神经网络，对下落物料失重值与下料仓料位h、落料率d、物料密度ρ及螺旋输送器的螺旋叶片直径D、螺距S和螺杆最大转速v_R之间的映射关系进行辨识，又在下料过程中对下料仓中的物料分布进行检测与动态调整，使得经训练的神经网络能对不同状态下的下落物料失重值进行准确预测，从而实现高精度下料。

[0015] 本发明的技术解决方案是，提供一种以下结构的基于神经网络的螺杆失重式物料下料机，包括：机架、下料仓、螺旋输送器、混料斗、称重模块、落料阀、混合料仓和控制器；

[0016] 所述下料仓安装在固定于机架的称重模块上，其内部有一个仓位传感器；

[0017] 所述螺旋输送器位于下料仓的底部开口处，所述下料仓和螺旋输送器为2～6组；

[0018] 位于螺旋输送器下方的所述混料斗，其底部开口受落料阀控制，且其内壁上安装有一个混料器；所述混合料仓位于落料阀下方，且其底部有一个推板；

[0019] 所述控制器含有采用动态递归Elman神经网络的神经网络模块，且每一个螺旋输送器都有一个神经网络模块对应，每个神经网络模块将所对应下料仓的料位、落料率、物料密度及螺旋输送器的螺旋叶片直径、螺距和螺杆最大转速6个输入量映射为下落物料失重值；控制器通过神经网络模块对下落物料失重值进行预测并基于该预测值修正下料量后对螺旋输送器的关闭时间进行调节；

[0020] 控制器依次控制各螺旋输送器动作，在完成一次配方量下料后，打开落料阀，然后在检测到混合料仓中的物料累积到设定值后，打开推板，将混合均匀的物料排出。

[0021] 作为优选，其还包括一个储料仓和进料泵，所述进料泵后端进料管的出口有一个物料喷头，所述物料喷头为球冠形，其表面分布有圆形小孔；

[0022] 所述进料泵转速按下式进行控制：

[0023] $$V_{进}=\begin{cases}V_{进0} & ,if\ l\le L_m\\ L_M-l \Big/ L_M-L_m\cdot V_{进0} & ,if\ L_m\le l\le L_M\\ 0 & ,if\ L_M\le l\end{cases},$$

[0024] 其中，$V_{进0}$为一设定最大进料速度，l为下料仓当前料位，L_M和L_m分别为所预设的最高、最低下料仓料位。

[0025] 作为优选，所述仓位传感器安装在在下料仓近机架中心的一个顶角上，且其底部有一个旋转底座；

[0026] 所述机架靠近下料仓侧壁处安装有振动杆，所述振动杆包括依次相连的支柱、云台、振动器、振杆，所述振动器底部有弹簧缓冲器，所述振杆表面分布有颗粒凸起。

[0027] 作为优选，所述混合料仓的侧壁上安装有一个混合料位传感器，其内部还有一个匀料器，所述匀料器采用螺旋形桨叶，所述推板下方还有一个输料管。

[0028] 作为优选，所述混料器包括依次相连的混料底座、两个混料支臂、以及连接两个混料支臂的混料支臂转轴、混料爪手转轴和混料爪手。

[0029] 作为优选，所述混料器包括混料转轴、安装在混料转轴上的混料转盘和螺旋叶片，以及支撑混料转轴的混料撑架。

[0030] 作为优选，所述下料仓底部有一个抽板；所述螺旋输送器包括螺杆箱、输送螺杆、连接器和电机，所述电机外壳通过连接器与螺杆箱相连，位于螺杆箱内的输送螺杆通过轴套与电机轴相连，螺杆箱上表面相对下料仓底部开口处有一进料口，螺杆箱与电机相对的

另一端部还连接有一个竖直放置的下料管。

[0031] 作为优选，所述控制器采用如下方式对螺旋输送器的运转速度进行控制：

[0032] A、从停止状态以$\mu \cdot a_{max}$加速度起动，当速度达到$\lambda \cdot v_R$时保持速度不变；

[0033] B、当关闭时间到时，以$\mu \cdot a_{max}$加速度开始减速，直至停止；

[0034] 其中，a_{max}为螺旋输送器的螺杆额定最大加速度，v_R为最大速度，μ为(0.5～0.9)之间的加速度系数，λ为(0.85～1.0)之间的速度系数；

[0035] 所述关闭时间是指，当前从称重模块读取到的已下料重量等于：$Ws\text{-}Wa\text{-}\frac{1}{2}\cdot\lambda\cdot d\cdot t_s$；

[0036] 其中，Ws和Wa分别为当前物料一次下料量和下落物料失重预测值，d为螺杆以最大速度运转时螺旋输送器的下料速率，t_s为减速停止时间长度：$t_s=\lambda \cdot v_R/\mu \cdot a_{max}$。

[0037] 作为优选，所述神经网络的模型为：

[0038] $xc_k(t)=x_k(t-mod(k,q)-1)$，

[0039] $$x_j(t)=f\left(\sum_{k=1}^{m}\omega_{jk}\cdot xc_k(t)+\sum_{i=1}^{5}\omega_{ji}\cdot u_i(t\text{-}1)-\theta_j\right),$$

[0040] $$y(t)=f\left(\sum_{j=1}^{m}\omega_j\cdot x_j(t)-\theta\right),$$

[0041] 其中，mod为求余函数，f()函数取为sigmoid函数；$xc_k(t)$为承接层输出，$x_j(t)$为隐含层输出，$u_i(t-1)$和$y(t)$分别为输入层输入和输出层输出，ω_j、ω_{jk}和ω_{ji}分别为隐含层到输出层的连接权值、承接层到隐含层的连接权值和输入层到隐含层的连接权值，θ和θ_j分别为输出层和隐含层阈值；k＝1,2...m，q为所选定的回归延时尺度，根据采样周期和下料速率优选，如可选q＝3；j＝＝1,2...m，i＝1,2...6，隐含层及承接层节点数m可以在11～20之间选择，如优选为16。

[0042] 作为优选，除了下落物料失重值的预测值，修正下料量时还要计入当前累积下料误差。

[0043] 本发明的另一技术解决方案是，提供基于神经网络的螺杆失重式物料下料机控制器，其包括信号采集模块、处理模块、神经网络模块、迭代学习模块、存储模块、第一连接阵、第二连接阵和输出模块，所述信号采集模块分别通过下料仓中仓位传感器和承载下料仓的称重模块来实时采集下料仓料位、下料仓重量的传感信号并传输给处理模块进行数据处理与分析，存储器用于数据保存；

[0044] 所述神经网络模块采用动态递归Elman神经网络，其输入层分别从处理模块接收下料仓料位、落料率、物料密度及螺旋输送器的螺旋叶片直径、螺距和螺杆最大转速6个输入量，输出层的输出量分别通过第一连接阵和第二连接阵传输至迭代学习模块和处理模块；

[0045] 离线训练所述神经网络时，迭代学习模块根据处理模块和神经网络分别通过第一连接阵输入的下落物料失重实际值和网络输出值，调整神经网络的连接权值；

[0046] 在线控制下料时，第一连接阵断开，神经网络对下落物料失重值进行预测并经第二连接阵输出给处理模块，由处理模块处理分析后通过输出模块对下料仓底部开口处的螺旋输送器进行关闭控制。

[0047] 采用本发明方案，与现有技术相比，具有以下优点：本发明采用非线性网络对下落

物料失重值与其影响因素间的关系进行建模，能根据动态称重读数预测出静态重量，从而可以通过调节螺旋输送器的关闭时间实现准确下料。与传统失重秤方案相比，本方案能用来进行物料的分批次定量下料，适用于小批量生产；采用仓位传感器和振动杆对下料仓内的物料堆积形态进行检测和调节，减小了落料率波动；还通过对下料累积误差的控制，减小了批量下料的总误差；且相对于一般螺杆式下料装置而言螺旋输送器可以保持更高运转速度，从而提升了下料效率。

附图说明

[0048] 图1为基于神经网络的螺杆失重式物料下料机的组成结构图；

[0049] 图2为基于神经网络的螺杆失重式物料下料机外形结构图；

[0050] 图3为物料下落失重效应示意图；

[0051] 图4为控制器的组成结构示意图；

[0052] 图5为Elman神经网络结构示意图；

[0053] 图6为下料仓底局部结构示意图；

[0054] 图7为振动杆结构示意图；

[0055] 图8为储料仓及下料仓局部结构示意图；

[0056] 图9为下料仓内物料流动层流示意图；

[0057] 图10为混料斗内多组份物料分布示意图；

[0058] 图11为实施例1中混料斗结构示意图；

[0059] 图12为实施例2中混料斗结构示意图。

[0060] 其中：1、下料仓 2、螺旋输送器 3、混料斗 4、称重模块 5、落料阀 6、混合料仓 7、推板 8、输料管 9、控制器 10、储料仓 11、进料泵 12、仓位传感器 13、混料器 14、振动台 15、进料管 16、物料喷头 17、小孔 18、振动杆 19、料位面 20、停靠指向点 21、扫描线 22、匀料器 23、混合料位传感器 24、下料管

[0061] 30、机架

[0062] 91、信号采集模块 92、处理模块 93、神经网络模块 94、迭代学习模块 95、存储模块 96、第一连接阵 97、第二连接阵 98、输出模块

[0063] 101、缓冲池 102、伞状体 103、阻尼器 104、伞帽 105、伞架 106、抽板

[0064] 131、混料底座 132、混料支臂 133、混料支臂转轴 134、混料爪手转轴 135、混料爪手 136、混料撑架 137、混料转轴 138、混料转盘 139、螺旋叶片

[0065] 181、支柱 182、云台 183、振动器 184、振杆 185、颗粒凸起 186、振杆轨迹

[0066] 201、螺杆箱 202、输送螺杆 203、连接器 204、电机

[0067] 301、弧形楔块

具体实施方式

[0068] 以下结合附图对本发明的优选实施例进行详细描述，但本发明并不仅仅限于这些实施例。本发明涵盖任何在本发明的精神和范围上做的替代、修改、等效方法以及方案。

[0069] 为了使公众对本发明有彻底的了解，在以下本发明优选实施例中详细说明了具体的细节，而对本领域技术人员来说没有这些细节的描述也可以完全理解本发明。

[0070] 在下列段落中参照附图以举例方式更具体地描述本发明。需说明的是，附图均采用较为简化的形式且均使用非精准的比例，仅用以方便、明晰地辅助说明本发明实施例的目的。

[0071] 实施例1：

[0072] 如图1和图2所示，本发明基于神经网络的螺杆失重式物料下料机，其包括下料仓1、螺旋输送器2、混料斗3、称重模块4、落料阀5、混合料仓6和控制器9，其中每种组份的物料都有一组下料仓1和螺旋输送器2对应，常用的组份类别为2～6种，还可以根据需要增加组份类别。

[0073] 下料仓1底部有一个抽板106，螺旋输送器2包括螺杆箱201、输送螺杆202、连接器203和电机204，电机204的外壳通过连接器203与螺杆箱201相连，位于螺杆箱201内的输送螺杆202通过轴套与电机204的轴相连；螺杆箱201上表面相对下料仓1底部开口处有一进料口，其与电机相对的另一端部连接到下料管24，下料管24固定在机架30上。

[0074] 结合图1和图2所示，下料时，控制抽板106打开，物料从下料仓1落入螺旋输送器2的螺杆箱201中，同时起动电机204，输送螺杆202随电机一起旋转，将物料输送到端部的下料管24，并从下料管24落入下方的混料斗3中。

[0075] 机架30作为设备的框架，用来固定和支撑其他各个部件。称重模块4固定在机架30上，下料仓1安装在称重模块4上。混料斗3的底部有开口，所述开口的打开与关闭受落料阀5的控制。混料斗4位于下料仓1的下部，多个螺旋输送器2的中心相对混料斗4的中心呈圆弧形分布。混料斗4内壁上安装有一个用来将多组份物料混合均匀的混料器13。

[0076] 结合图2和图4所示，控制器9采用触摸式操作方式，其触摸屏上有人机界面可进行多组份物料的配方及其他参数的设置，配方包括一次下料的总重量和每个组份占该重量的百分比。控制器9分别通过信号采集模块91和输出模块98与各传感器和动作部件相连。

[0077] 混合料仓6位于落料阀5下方，且其底部有一个推板7，推板下方连接有一个输料管8，后者将多组份的混合物料输送到包装袋或者生产设备。

[0078] 作为优选，在混合料仓6的侧壁上安装有一个混合料位传感器23，其内部还有一个匀料器22，所述匀料器22采用螺旋形桨叶。混合料仓6的容量是混料斗3的若干如15倍，在完成多个一次量下料后，控制器9读取混合料位传感器23的状态，若检测到混合料的料位超过设定阈值，则控制匀料器22旋转将混合料再次搅拌均匀后，在控制器9的控制下，推板7打开，混合物料从输料管8输出。

[0079] 图3示意了物料下落过程中物料失重效应对称重的影响，物料以速度v_0从螺旋输送器2中落下，螺旋输送器2与下料仓1一起承载在称重模块4上，称重模块4测量出下料仓1中物料的质量当量变化可用下式表示：

[0080] $$w(t)=Gs/g-\int_0^t dm\cdot dt-\Delta m\cdot v_0/g\cdot\Delta t \qquad (1),$$

[0081] 其中，Gs为零时刻的初始重量，在t时刻，dm为螺旋输送器出口的单位时间落料质量(g/s)，v_0为物料下落时的初始速度，Δm的物料在Δt时间内离开螺旋输送器2。

[0082] 结合图2和图3所示，控制器可实时动态读取称重模块的当前读数，但在下料过程中，其所读取的读数减小值并非真正下落到混料斗中物料的重量，而是包括了物料下落的反向冲击作用。因此，在计算物料下料量时要扣除这一冲击作用的影响。但在实际中如何准

确获取冲击的等效重量值是必须解决的一个难题。

[0083] 从式(1)可以看出,称重模块检测到的物料质量不但包括实际下落的物料即式中的第二项,同时其还受到物料非零速度下落引起的动量反向冲击即式中第三项的影响,其中第三项就是失重效应项。因此,传统失重秤中直接读取重量的方法不能获得下料仓中某确定时刻的实际重量。

[0084] 为了获得当前时刻下料仓中物料的确切质量,需考虑这种失重效应的影响,先要获取式(1)中第三项值即等效的下落物料失重值。

[0085] 通过对失重式下料过程进行反复实验测试和分析,总结出对螺杆失重式物料下料机,其下料过程中下落物料失重值最主要的影响因素包括:下料仓料位h、落料率d、物料密度ρ及螺旋输送器的螺旋叶片直径D、螺距S和螺杆最大转速v_R。下落物料失重值是这些物理量的复杂非线性映射。为了准确预测不同状态下下落物料失重值,从而通过调节阀门关闭时间来进行准确的下料,需要辨识该映射关系。

[0086] 基于该映射的复杂非线性特征,又考虑到连续两个采样周期中下落物料失重值之间存在的紧密联系,本发明采用动态递归Elman神经网络建模,对下落物料失重值与下料仓料位h、落料率d、物料密度ρ及螺旋输送器的螺旋叶片直径D、螺距S和螺杆最大转速v_R之间的映射关系进行辨识。

[0087] 如图4所示,控制器包括信号采集模块91、处理模块92、神经网络模块93、迭代学习模块94、存储模块95、第一连接阵96、第二连接阵97和输出模块98。其中,神经网络模块93采用Elman神经网络,存储模块95即存储器用来保存数据。

[0088] 如图5所示,所采用的Elman神经网络具有递归结构,相比BP神经网络,Elman神经网络除了输入层、隐含层和输出层之外,还包括一个承接层,承接层用于层间的反馈联结,使得其能够表达输入与输出之间在时间上的延迟及参数时序特征,使得网络具有了记忆功能。图4中,所建立的神经网络输入层有6个单元,隐含层及承接层节点数m可以在11～20之间选择,如选择为16,输出层只有一个单元。

[0089] 所述神经网络的模型为:

[0090] $xc_k(t)=x_k(t-mod(k,q)-1)$ (2),

[0091] $$x_j(t)=f\left(\sum_{k=1}^{m}\omega_{jk}\cdot xc_k(t)+\sum_{i=1}^{5}\omega_{ji}\cdot u_i(t-1)-\theta_j\right) \quad (3),$$

[0092] $$y(t)=f\left(\sum_{j=1}^{m}\omega_j\cdot x_j(t)-\theta\right) \quad (4),$$

[0093] 其中,mod为求余函数,f()函数取为sigmoid函数;$xc_k(t)$为承接层输出,$x_j(t)$为隐含层输出,$u_i(t-1)$和$y(t)$分别为输入层输入和输出层输出,ω_j、ω_{jk}和ω_{ji}分别为隐含层到输出层的连接权值、承接层到隐含层的连接权值和输入层到隐含层的连接权值,θ和θ_j分别为输出层和隐含层阈值;k=1,2...m,q为所选定的回归延时尺度,根据采样周期和下料速率优选,如可选q=3;j==1,2...m,i=1,2...6。

[0094] 结合图2和图4所示,作为优选,控制器9,还可以通过触摸屏操作来实现第一连接阵及第二连接阵的切换,从而使得控制器工作在离线训练或在线预测模式。

[0095] 结合图4和图5所示,所建立的神经网络,输入层包括6个节点,其中物料密度ρ及螺旋输送器的螺旋叶片直径D、螺距S和螺杆最大转速是确定值,其他2个量则需要通过信号采

集模块来动态实时采集。通过在网络中引入多个不同延时回归的承接层节点，使得网络结构与下料过程更为切合，从而使网络训练更快收敛。

[0096] 离线训练所述神经网络时，迭代学习模块根据处理模块和神经网络分别通过第一连接阵输入的下落物料失重实际值和网络输出值，调整神经网络的连接权值。

[0097] 为了获取训练样本，在下料开始后，当物料从下料仓底部螺旋输送器到混料斗之间形成连续的物料流时，持续下料一段时间，在关闭阀门时实时读取称重模块动态重量读数W，等待物料下落完毕后读取称重模块的静态重量读数WD，则在关闭阀门时刻的状态下的下落物料失重实际值为L＝WD-W，此值即样本输出值y的实际值即期望值y_d。

[0098] 神经网络训练采用梯度下降法，训练中权值和阈值调整方法如下。

[0099] 假设总共有P个训练样本，令误差函数为：

[0100] $$En(t)=\frac{1}{2}\sum_{p=1}^{P}(y_d-y)^2 \qquad (5),$$

[0101] 则隐含层到输出层连接权值的调整式如下式所示：

[0102] $\omega_j(t+1)=\omega_j(t)+\Delta\omega_j(t+1)$ (6)，

[0103] 其中，$$\Delta\omega_j(t+1)=-\eta\frac{\partial En}{\partial\omega_j}=-\frac{\eta}{P}\sum_{p=1}^{P}\delta_y\cdot x_j(t) \qquad (7),$$

[0104] $\delta_y=-(y_d-y)\cdot y\cdot(1-y)$ (8)，

[0105] 输出层阈值的调整式为：

[0106] $\theta(t+1)=\theta(t)+\Delta\theta(t+1)$ (9)，

[0107] 其中，$$\Delta\theta(t+1)=-\eta\frac{\partial En}{\partial\theta}=\frac{\eta}{P}\sum_{p=1}^{P}\delta_y \qquad (10),$$

[0108] 类似地，输入层到隐含层连接权值的调整式为：

[0109] $\omega_{ji}(t+1)=\omega_{ji}(t)+\Delta\omega_{ji}(t+1)$ (11)，

[0110] 其中，$$\Delta\omega_{ji}(t+1)=-\frac{\eta}{P}\sum_{p=1}^{P}\delta_j\cdot u_i(t-1) \qquad (12),$$

[0111] $\delta_j=\delta_y\cdot\omega_j\cdot x_j(t)\cdot(1-x_j(t))$ (13)，

[0112] 隐含层阈值的调整式为：

[0113] $\theta_j(t+1)=\theta_j(t)+\Delta\theta_j(t+1)$ (14)，

[0114] 其中，$$\Delta\theta_j(t+1)=\frac{\eta}{P}\sum_{p=1}^{P}\delta_j \qquad (15),$$

[0115] 不考虑$xc_k(t)$对连接权ω_{jk}的依赖，承接层到隐含层连接权值的调整式为：

[0116] $\omega_{jk}(t+1)=\omega_{jk}(t)+\Delta\omega_{jk}(t+1)$ (16)，

[0117] 其中，$$\Delta\omega_{jk}(t+1)=-\frac{\eta}{P}\sum_{n=1}^{P}\delta_j\cdot xc_k(t) \qquad (17)。$$

[0118] 各权值的初始值域取为(-0.1,0.1)区间，学习速率η为小于1的小数，可采用固定速率或根据当前网络输出总误差来动态调整。

[0119] 训练结束条件可以设定为总误差或其变化小于一个设定值或训练次数达到一定量。

[0120] 作为优选，为了使得训练样本覆盖更多情况，每次关闭阀门时刻可以设定为从螺旋输送器起动时刻或称重模块重量读数为某个确定值时刻之后的随机值。

[0121] 在进行网络训练之前，对6个输入量和1个输出量进行归一化预处理：

[0122] $r'=r-r_{min}/r_{max}-r_{min}$ (18)，

[0123] 其中，r为未经处理的物理量，r′为经过归一化后的物理量，r_{max}和r_{min}分别为样本数据集的最大和最小值。

[0124] 计算下落物料失重预测值时，用下式将网络输出量换算回下落物料失重值：

[0125] $r=r_{min}+r'\cdot(r_{max}-r_{min})$ (19)。

[0126] 在线控制下料时，第一连接阵断开，神经网络对下落物料失重值yL进行预测并经第二连接阵输出给处理模块，由处理模块处理分析后通过输出模块对下料仓底部开口处的螺旋输送器进行关阀控制：

[0127] 假设当前组份的一次下料量为Ws，开始下料时，控制器通过读取称重模块的传感值，获得下料仓的初始静态重量为G0；那么，控制器不断读取称重模块的传感值，当动态重量读数达到(G0-Ws-yL)时，关闭螺旋输送器。

[0128] 作为优选，除了下落物料失重值预测值，还要对本组份物料当前累积下料误差进行补偿，即当检测到下料仓动态重量读数达到(G0-Ws-yL+E)时，关闭螺旋输送器，其中E为本组份当前累积下料误差，且E为正时表示下料过多。

[0129] 作为优选，控制器采用如下方式对螺旋输送器的运转速度进行控制：

[0130] A、从停止状态以$\mu\cdot a_{max}$加速度起动，当速度达到$\lambda\cdot v_R$时保持速度不变；

[0131] B、当关闭时间到时，以$\mu\cdot a_{max}$加速度开始减速，直至停止；

[0132] 其中，a_{max}为螺旋输送器的螺杆额定最大加速度，v_R为最大速度，μ为(0.5～0.9)之间的加速度系数，λ为(0.85～1.0)之间的速度系数；

[0133] 所述关闭时间是指，当前从称重模块读取到的已下料重量等于：$Ws-Wa-\frac{1}{2}\cdot\lambda\cdot d\cdot t_s$；

[0134] 其中，Ws和Wa分别为当前物料一次下料量和下落物料失重预测值，d为螺杆以最大速度运转时螺旋输送器的下料速率，t_s为减速停止时间长度，$t_s=\lambda\cdot v_R/\mu\cdot a_{max}$。

[0135] 离线获取训练样本和在线引用神经网络时，对螺旋输送器均采用这同一种转速控制。

[0136] 信号采集模块分别通过下料仓中仓位传感器、承载下料仓的称重模块来分别实时采集下料仓料位、下落物料重量的传感信号并传输给处理模块进行数据预处理，之后输入到神经网络，神经网络输出值和经处理模块预处理的期望输出值均通过第一连接阵传送至迭代学习模块，由迭代学习模块根据梯度下降法将调整后的权值回传给神经网络。

[0137] 所述仓位传感器采用距离传感器，检测下料仓中物料的料位高度，通过周期性地不断采集称重模块信号，处理模块可以计算出单位时间内物料下落质量当量即落料率。

[0138] 结合图2和图6所示，作为优选，为了减小螺旋输送器2动作对称重的影响，在下料仓底部设置一个缓冲池101，其包括阻尼器103、伞状体102。阻尼器103采用软连接分段，可减小螺旋输送器2动作时传递到称重模块的振动。伞状体102又包括伞帽104和支撑伞帽的伞架105。

[0139] 从式(1)中还可以分析出，下落物料失重值与落料状况紧密相关，其受到下料仓1

中物料形态分布的影响。

[0140] 颗粒物质在重力作用下自下料仓流出形式主要有整体流和中心流两种类型。整体流的流动型式中料仓内整个颗粒层能够大致均匀地流出，且基本上每一个颗粒都在运动；而中心流的流动型式中则有些颗粒是静止的，在流动和静止颗粒间存在一个流动通道边界。整体流的整体下料速率比中心流大，并且下料速率的波动较小、流动稳定。在实际生产过程中，下料仓内物料可能会出现中心流的流动型式，使得当料口开始卸料时，由于仓压所产生的压实应力作用而造成物料结实成板。

[0141] 结合图6～8所示，作为优选，为了减小下料仓中落料率的波动幅度，从而更好地进行下落物料失重值预测，下料机中采用距离传感器型仓位传感器和可旋转振动杆对下料仓内的物料堆积形态进行检测和调节，使得下料口上方交替出现动态料拱的形成与坍塌，保证物料密实度和落料形态的稳定。

[0142] 如图8所示，下料仓1不断出料，当仓内料位降低到一定值时，需要对其进行补料。为此，在下料仓1上方设置一个储料仓10，储料仓10中的物料通过进料泵11和进料管15进入下料仓1。为使得物料颗粒均匀下料，在进料管15的末端出口处设有一个物料喷头16，物料喷头16表面为球冠形，其表面分布有圆形小孔17，小孔孔径根据物料的粒度进行优选。进料泵11采用螺杆输送机，其动作由控制器进行控制。

[0143] 在下料仓1下料过程中，随着料位面19的降低，进料泵11在控制器的控制下动作，使得下料仓内物料顶面的料位保持在预设值附近，其转速按下式进行控制：

[0144]

$$V_{进}=\begin{cases}V_{进0} & ,if\ l\le L_m\\ \left.L_M-l\right/L_M-L_m\cdot V_{进0} & ,if\ L_m\le l\le L_M\\ 0 & ,if\ L_M\le l\end{cases} \qquad (20),$$

[0145] 其中，$V_{进0}$为一设定最大进料速度，l为下料仓当前料位，L_M和L_m分别为所预设的在L_T附近的最高、最低料位。

[0146] 图8中两图分别从下料仓1的侧视和俯视方向观察，如图8a和8b所示，在下料仓1近机架中心的一个顶角上安装有仓位传感器12，其有一个可旋转底座能进行俯仰和旋转，使得仓位传感器能在不同停靠指向点20的方向上进行物料检测，各停靠指向点20组成接近同心圆的扫描线21，从而判断出料位面19的分布。

[0147] 如图7所示，控制器通过下料机在下料仓1侧壁上安装的一个振动杆18来改善物料的分布。振动杆18包括依次相连的支柱181、云台182、振动器183、振杆184，在振动器183底部有弹簧缓冲器，振杆184表面分布有颗粒凸起185，云台182能进行俯仰和旋转，使得振杆184在下料仓1内做曲线运动。

[0148] 结合图7和图6所示，下料仓底部缓冲池中的伞状体，可承担上部仓压，削弱出料口附近较大压实力的作用，大大减小了伞帽下方的仓压，同时在其周边形成一个环状料流口，使得仓内物料趋于整体流动形式，能进一步防止物料的结拱堵塞。

[0149] 下料过程中，控制器分别通过仓位传感器的检测和对单位时间下料率的跟踪来判断下料仓内物料的分布，使得下料仓内的料位面保持近似抛物线面形。结合图8～9所示，当物料均匀分布时，仓位传感器在不同方位检测到的物料距离值经检测射线与竖直方向倾角

的几何变换后近似集中在一个较小的范围内。当物料局部发生板结或稳定的料拱时，检测到的距离值超出此范围。同时，通过称重模块对各下料仓的下料速率进行实时跟踪。当距离传感器检测到上述异常状态或者发现单位时间下料量波动超过设定阈值如5％后，控制器命令振动杆动作，通过云台的运转，其振杆从起点开始经料位高点区域到料位低点区域，做蛇形搅动，振杆124尾端在下料仓1内的振杆轨迹126如图7所示；同时，振动器起振，振杆上的颗粒凸起带动周边的颗粒，从而破除偶尔形成的板结或料拱，使物料分布恢复均匀。通过对物料分布的动态检测和控制，减小物料密实度的波动，从而保证单位时间充填量的稳定。在振动杆动作动作的同时，暂停下料，且将抽板关上。

[0150] 如图9所示，本发明通过距离传感器和振动杆的检测与动作配合，大幅度地减弱了装料冲击所产生的压实力作用，有效地防止了仓内物料的粒度离析，使下部仓斗内的物料活化，改善了物料的分布。

[0151] 图10补充了多组份物料下料过程的记录，其中所示为4种组份下料时混料斗内的物料分布示意图。

[0152] 结合图2和图11所示，当多组份物料下落到混料斗3后，混料斗3内的混料器动作，将物料混匀。如图11所示，混料器13包括依次相连的混料底座131、两个混料支臂132、以及连接两个混料支臂132的混料支臂转轴133、混料爪手转轴134和混料爪手135，其中混料底座131也含有一个旋转轴。

[0153] 在混料仓3底部开口处可开合组件的底内侧有一个弧形楔块301，混料爪手135采用半硬质的柔性材料。在控制器的作用下，混料器13的混料爪手135从混料斗左侧经底侧到右侧，从高到低再到高，反复做螺旋形翻转，混合搅拌多组份物料。在混料斗非开口一侧的外部，还有一个振动台14，在混料器13动作的同时控制器还控制振动台14起振，混料斗内的多组份物料在混料器13与振动台14的作用下，能被充分地均匀混合。

[0154] 应用本发明下料机进行下料，先离线对各螺旋输送器的下料行为进行分别建模，采集样本的过程中单独进行每组份物料的下料，从而可以回收所有物料而不会造成浪费。实际下料时周期性采集下料仓料位及落料率，能实时对当前下落物料失重值进行预报，因而从第一个批次开始，就能精确下料而避开了其他如在线迭代学习方案中的下料误差波动。

[0155] 实施例2：

[0156] 结合图2和图12所示，当多组份物料下落到混料斗3后，混料斗3内的混料器动作，将物料混匀。如图12所示，混料器13包括固定在混料斗中的混料转轴137、安装在混料转轴137上的混料转盘138和螺旋叶片139，固定在混料斗3内壁上的混料撑架136用来支撑混料转轴137。混料转盘138类似水轮车的环状，其外环上有与圆周呈基本垂直的矩形叶片，叶片上可开孔。螺旋叶片139采用非规则的螺旋形叶片，在叶片上分布有孔洞。

[0157] 在混料仓3底部开口处可开合组件的底内侧有一个弧形楔块301，在控制器的作用下，混料器13的混料转轴137旋转，其内部的矩形叶片与螺旋叶片139一起对物料进行翻转。

[0158] 在混料斗非开口一侧的外部，还有一个振动台14，在混料器13动作的同时控制器还控制振动台14起振，混料斗内的多组份物料在混料器13与振动台14的作用下，被充分地均匀混合。

[0159] 实施例3：

[0160] 结合图2所示，为对下料仓1进行失重计量，可从下料仓外侧壁引出两个水平支撑部；将称重模块水平放置，称重模块从两侧在垂直方向上支撑下料仓。或从下料仓1顶部引出两个悬吊部，将称重模块水平放置，称重模块从两侧在垂直方向上支撑下料仓。

[0161] 以上所述的实施方式，并不构成对该技术方案保护范围的限定。任何在上述实施方式的精神和原则之内所作的修改、等同替换和改进等，均应包含在该技术方案的保护范围之内。

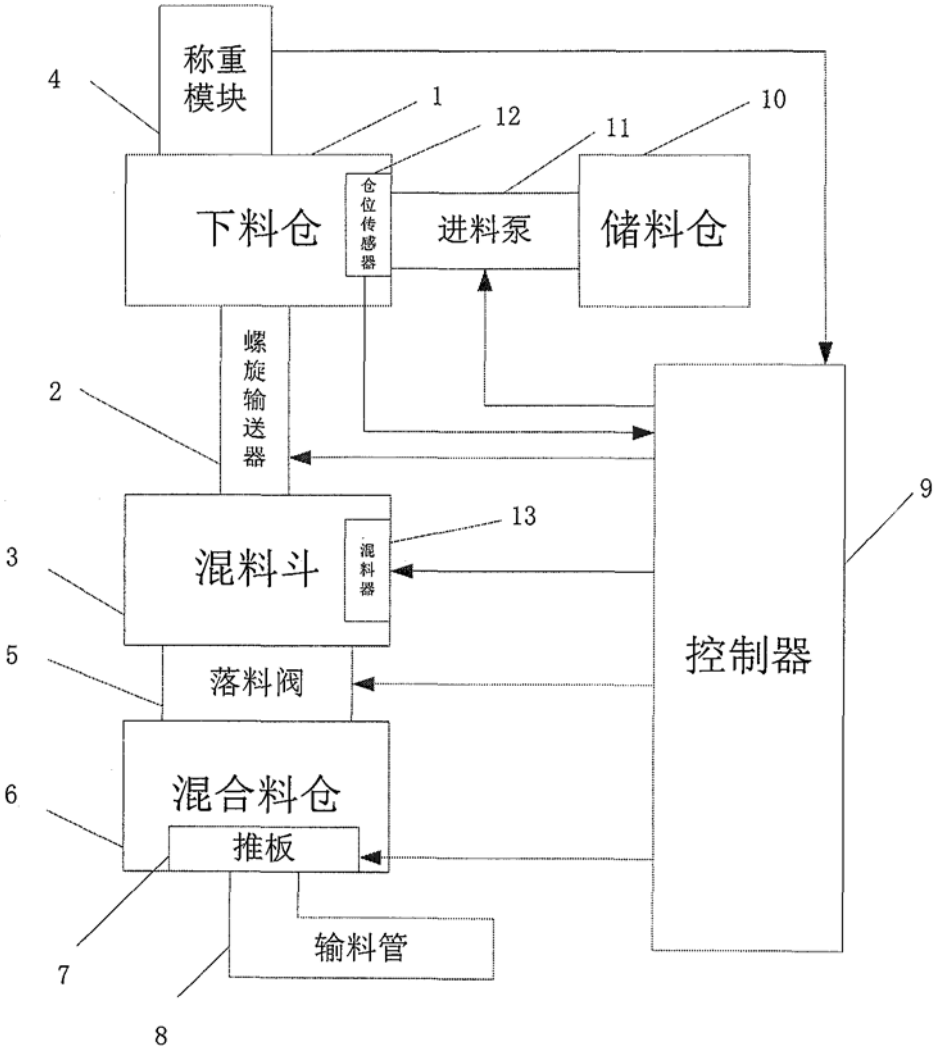

称重模块
4
1
12
11
10
下料仓
仓位传感器
进料泵
储料仓
螺旋输送器
2
9
13
混料斗
混料器
3
5
落料阀
控制器
混合料仓
6
推板
输料管
7
8

图1

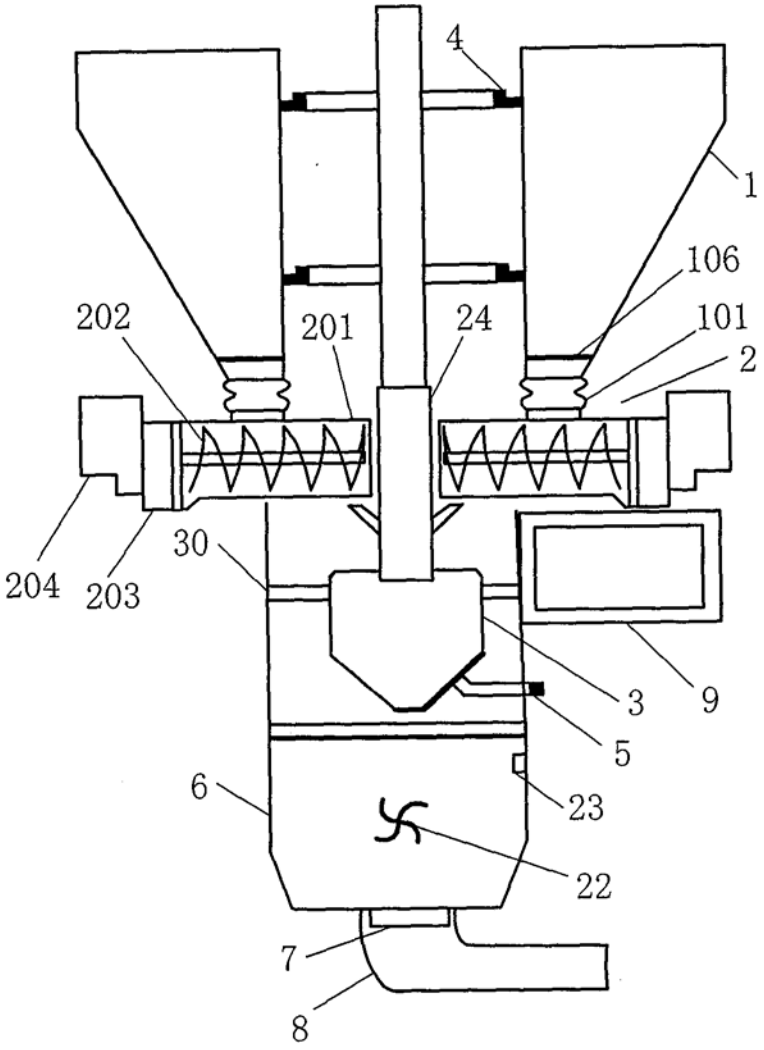


图2

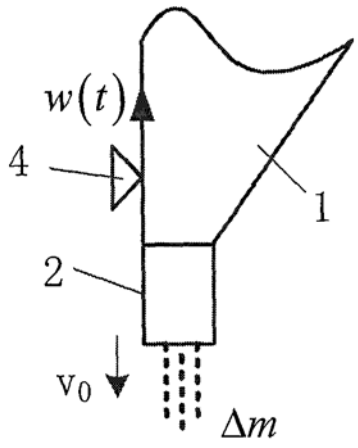


图3

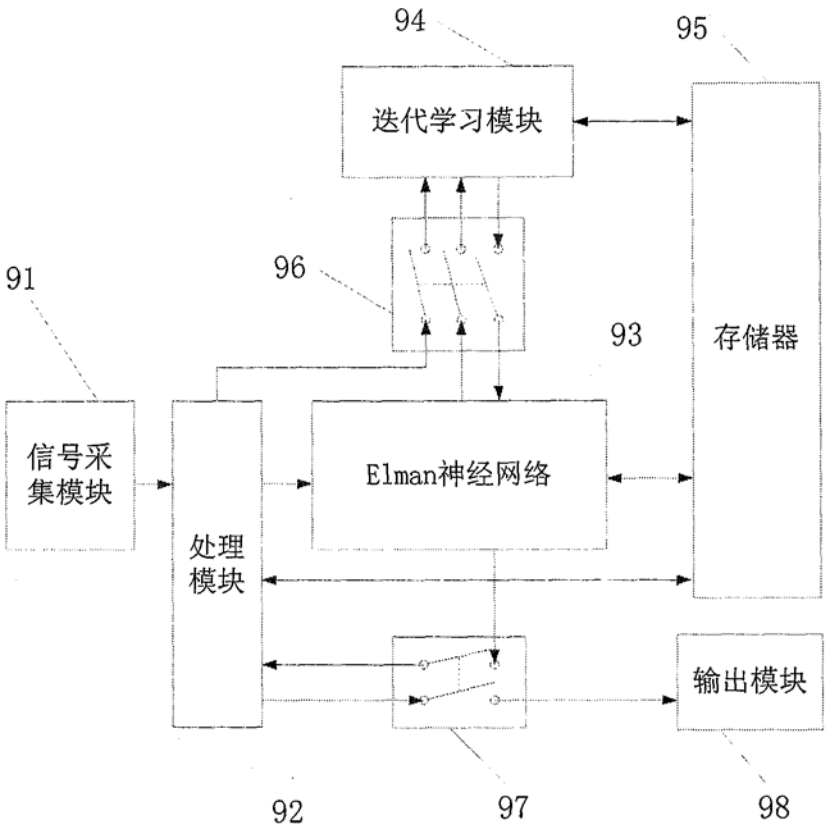

94
95
迭代学习模块
96
91
93
存储器
信号采集模块
处理模块
Elman神经网络
输出模块
92
97
98

图4

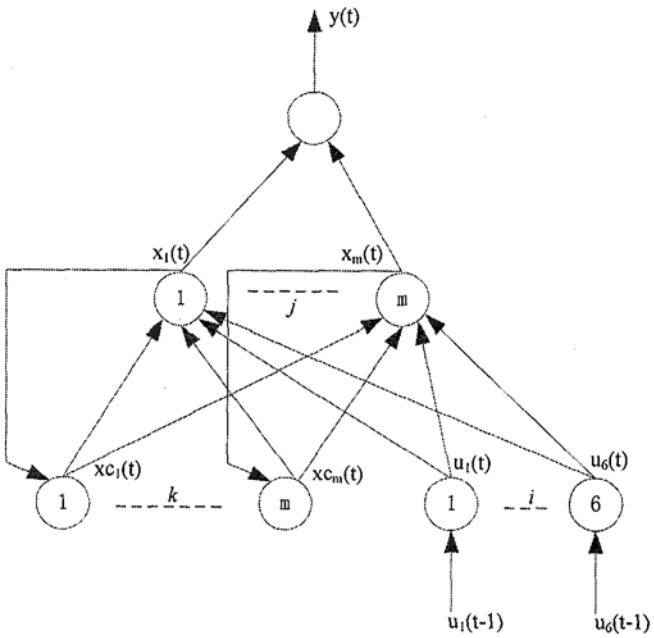

y(t)
x1(t)
xm(t)
1
j
m
xc1(t)
xcm(t)
u1(t)
u6(t)
1
k
m
1
i
6
u1(t-1)
u6(t-1)

图5

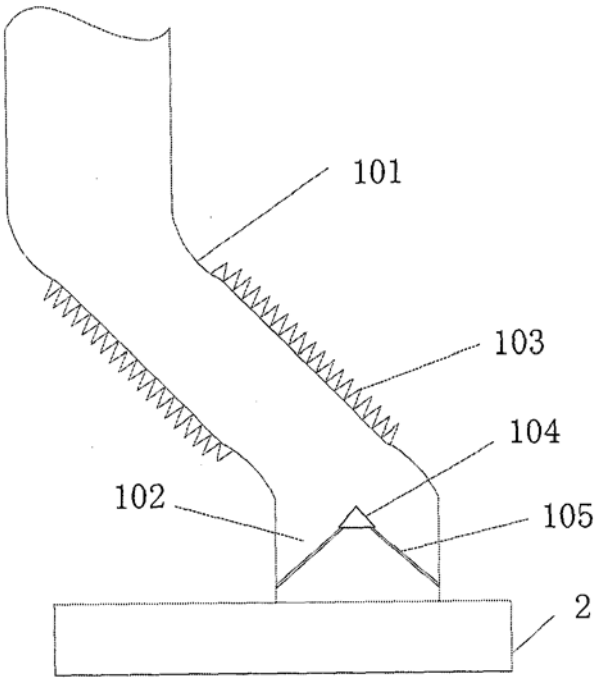


图6

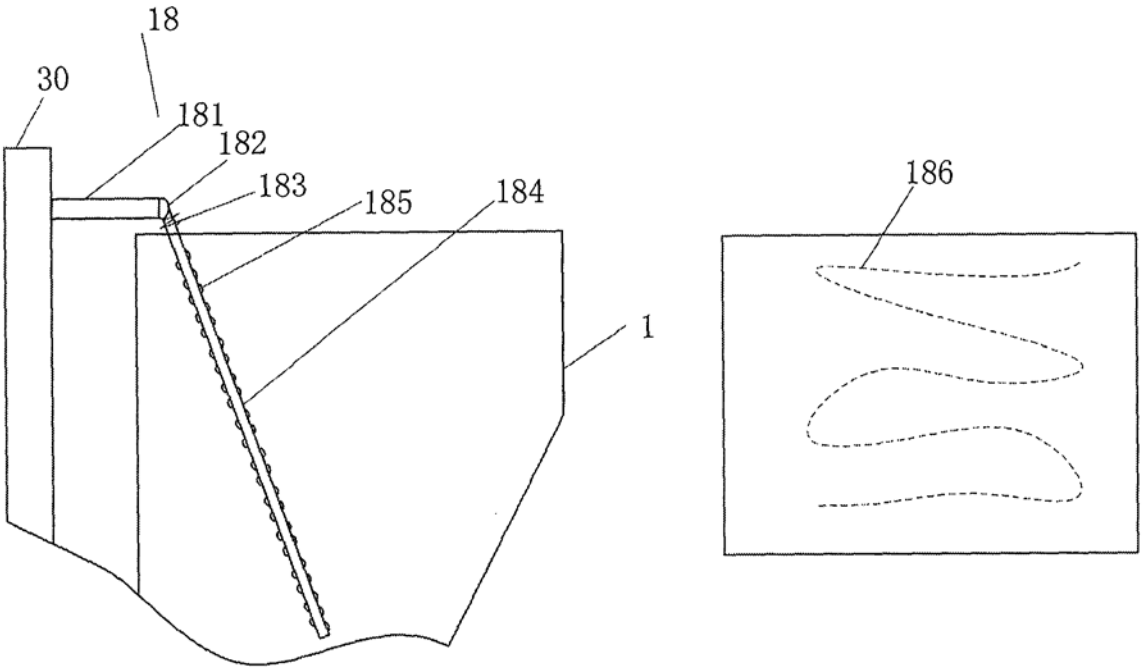
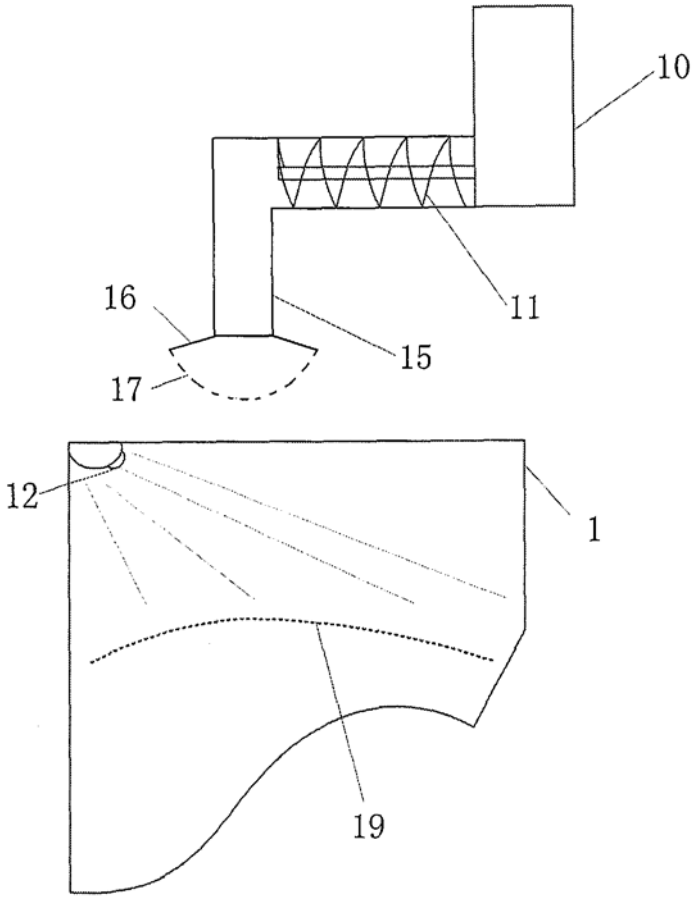
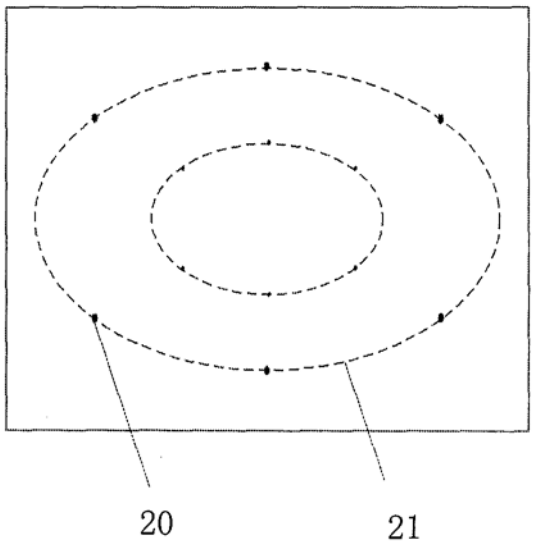


图7



(a)



(b)

图8

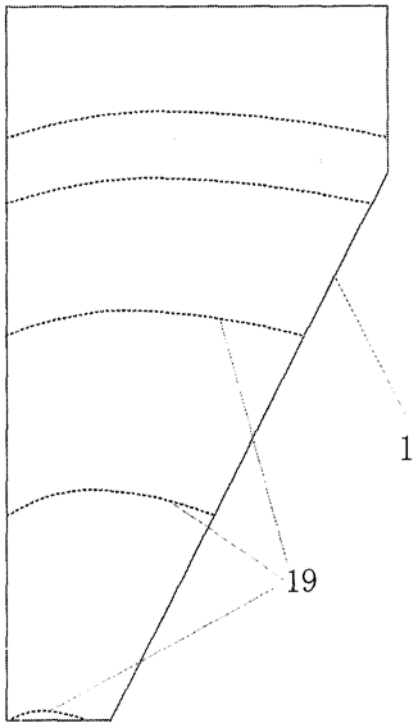


图9

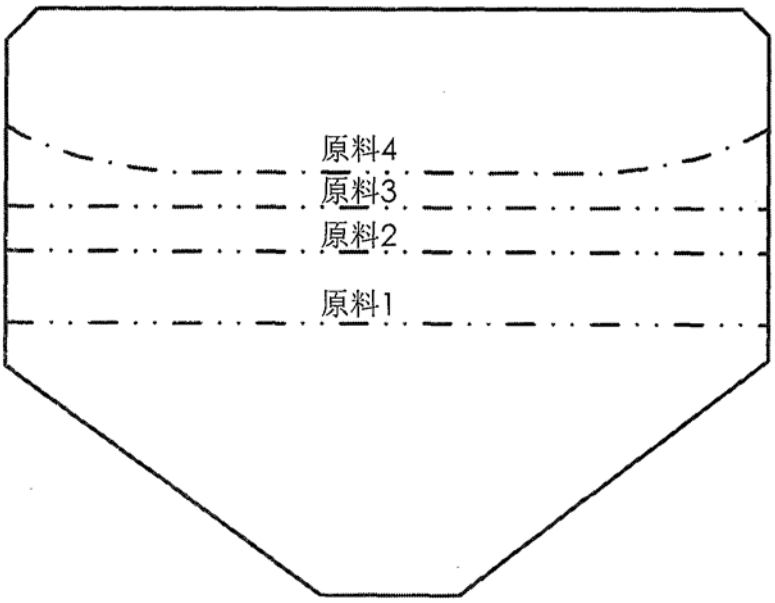


图10

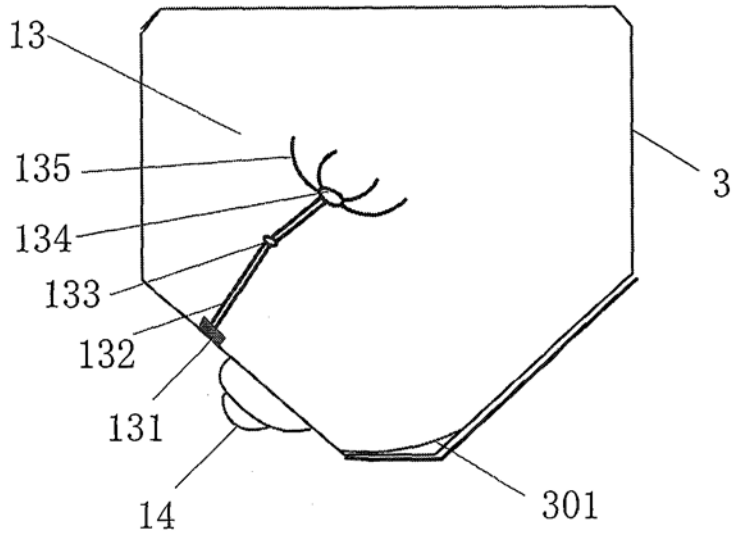


图11

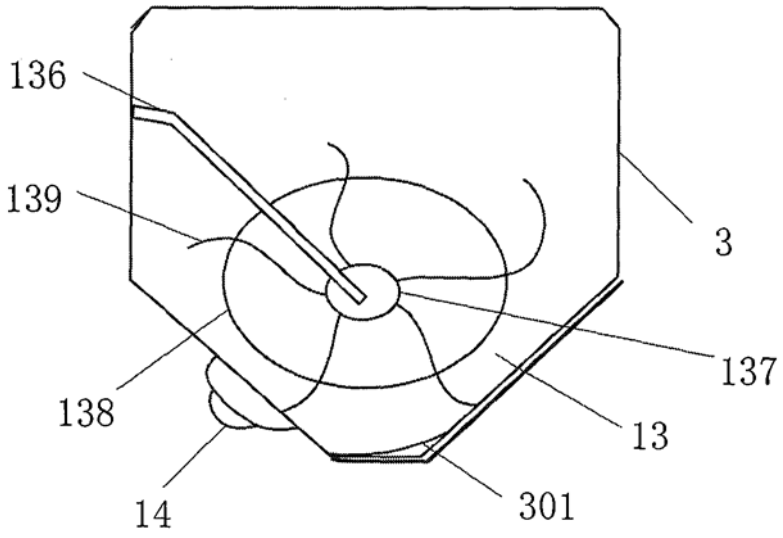


图12