



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114812709 B

(45) 授权公告日 2024.07.12

(21) 申请号 202210483445.4

(22) 申请日 2022.04.25

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114812709 A

(43) 申请公布日 2022.07.29

(73) 专利权人 山东成城物联网科技股份有限公司

地址 271000 山东省泰安市高新区泰山科技城A区1号西户

(72) 发明人 李松和 刘继峰 高磊 孟庆贵 孙超

(74) 专利代理机构 济南誉丰专利代理事务所
(普通合伙企业) 37240
专利代理师 于洪伟

(51) Int.Cl.

G01F 1/661 (2022.01)

G06F 30/28 (2020.01)

(56) 对比文件

CN 217210994 U, 2022.08.16

审查员 陈林

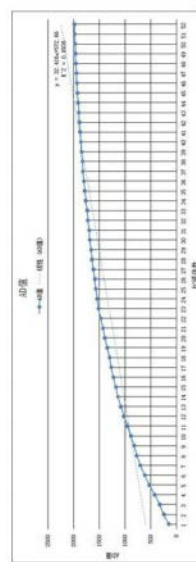
权利要求书2页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

用于乳液实时流速计量的红外流量计

(57) 摘要

本发明公开了一种用于乳液实时流速计量的红外流量计,涉及乳液实时流速检测设备领域,本发明采用非接触式红外流量计的结构,选择波长为820nm的红外发射管作为红外发射器,使其既能精确检测大颗粒的牛奶、水牛奶流量,又能精确检测小颗粒的羊奶、骆驼奶流量,应用更加广泛;重新设计了乳液流量的计算算法,采用分段线性拟合的方式,计量精确,牧场实际称量数据与流量计计量数据之间的平均误差 $\leq 5\%$,完全能够满足牧场误差 $\leq 10\%$ 的生产需要,使用普通单片即可实现,既解决了原有非接触式红外流量计计量误差大的问题,又无需承担更换带有浮点运算功能的微处理器带来的高于原价数倍的制作成本,低成本获得高性能,适合大规模推广应用。



1. 一种用于乳液实时流速计量的红外流量计,采用非接触式红外流量计的结构,在输奶管道两侧分别安装红外发射/接收器,通过设定的算法程序计算得出乳液的流量,其特征在于,所述红外发射器采用波长为820nm的红外信号发射管,所述乳液流量的算法采用分段线性拟合的方式,通过如下步骤实现:

1) 利用A4纸模拟奶层填充流量计,测量纸张数与红外线遮挡之间的关系,纸的张数与红外线遮挡衰减基本上呈对数关系,采用分段线性拟合的方式表示,那么计算乳液厚度d的公式

$$d = a_j + k_j * U \quad (1)$$

其中, a_j 表示常系数值, k_j 表示第j条拟合线段的斜率,U表示测得的红外信号衰减值,根据U的不同值域区间选择不同斜率 k_j 的拟合线段,当 $j \geq 4$ 时拟合精度误差小于1张纸;

2) 假设以A4纸的厚度为单位将乳液分层,每层乳液的厚度是 S_0 ,由此可得到计算乳液流量的公式

$$q_{(t)} = S_0 \sum_{i=1}^{d/S_0} V_{i(t)} \quad (2)$$

3) 通过雷诺数 R_e 的计算公式计算得知,乳液在垂直安装的封闭式流量计中处于完全湍流状态,

$$R_e = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (3)$$

其中 ρ 表示液体的密度值, v 表示液体的流速, d 表示管径, μ 表示乳液的黏性系数,一般情况下乳液密度为 $1.038-1.040\text{kg/m}^3$,管道中乳液流速大体位于 $3-7\text{m/s}$ 的范围内,流量计的管径为 8mm ,黏性系数一般为 $1.2-2.5\text{cP}$,代入公式(3)后求得的雷诺数 R_e 值在 $9974-48487$;

4) 根据工程实践中近似的流速分布公式,得到以A4纸厚度为单位的乳液分层流速分布情况,

$$u = u_{\max} \left(1 - \frac{r}{R} \right)^n \quad (4)$$

其中 u 表示液体的流速, u_{\max} 表示管道正中心液体的流速, R 表示管道半径, r 表示与管道正中心之间的距离, n 是指数, n 的取值依赖于雷诺数 R_e 值,当 $n=1/7$ 时,符合以A4纸厚度为单位的牛奶分层流速分布;

5) 将乳液分层流速分布值代入公式(2)后求得瞬时流量值 $q_{(t)}$,获得乳液的瞬时流量与分层数之间的对应关系,为实现快速计算,采用分段线性拟合的方式求得乳液的瞬时流量近似计算公式

$$q_{(t)} = b_h + k_h \times S \quad (5)$$

其中 b_h 表示常系数值, k_h 表示第h条拟合线段的斜率,S表示乳液层数值,根据不同的层数值选择斜率为 k_h 常系数为 b_h 的拟合线段;

6) 将公式(5)与公式(1)结合得到公式

$$q_{(t)} = b_h + k_h \times (a_j + k_j \times U) / S_0 \quad (6);$$

7) 将公式(6)整理化简后得到公式

$$q_{(t)} = b_i + k_i \times U \quad (7)$$

其中 $b_i = b_h + k_h \times a_j \div S_0$, $k_i = k_h \times k_j \div S_0$, 直接反应出瞬时流量与红外信号衰减值之间的近似对应关系。

2. 根据权利要求1所述的用于乳液实时流速计量的红外流量计, 其特征在于, 所述乳液流量算法中引入测量权重 w_j 来描述红外信号衰减值出现的频率, 在计算公式 (7) 中的系数 b_i 和 k_i 时需要满足公式 (8) 中 y 值最小的约束

$$y = \sum w_j \|q_{(t)} - b_i - k_i \times U\|_2 \quad (8)。$$

3. 根据权利要求1所述的用于乳液实时流速计量的红外流量计, 其特征在于, 所述红外流量计竖直安装, 安装时前后左右的倾斜角度均 $< 15^\circ$, 所述红外流量计上部接口和下部接口必须连接不短于20cm的直管后再接入乳液流通弯道或弯头。

用于乳液实时流速计量的红外流量计

技术领域

[0001] 本发明涉及乳液实时流速检测设备领域,具体的说是一种用于乳液实时流速计量的红外流量计。

背景技术

[0002] 目前在奶牛养殖领域中普遍采用差异化精准养殖方式,即根据奶牛产奶量的不同投放不同配方的饲料进行喂养。对于高产奶量的优质高产奶牛投放高价格的精饲料进行喂养,对于平均产奶量的普通奶牛投放价格成本略低的普通饲料进行喂养,对于产奶量较少的病奶牛或等待处理的劣质奶牛则投放价格成本更低的饲料进行喂养。差异化精准养殖方式能够有效提高奶牛养殖的投入产出比,饲料的转化率高,经济效益显著。

[0003] 差异化精准养殖方式的关键点在于精确的测量出每一头奶牛的产奶量,急需高精度的牛奶流量计完成这项功能。现有的国产牛奶流量计工作原理均为接触式,其中以涡轮式和容积式为主。因牛奶富含脂肪和蛋白质等营养成分,容易在接触面形成沉积奶垢难以清洗,会导致细菌滋生严重影响牛奶的质量。

[0004] 非接触式计量方式在输奶管道两侧分别安装发射/接受器,利用光、红外线、超声波等发射信号穿过奶液时产生的强度(或幅度)衰减或者频移等变化,可以推算出管道中浓度相同的奶液厚度,然后综合管道的尺寸和形状以及奶液的流速等信息即可换算出奶液的流量。这种测量方式不需要接触奶液即可实现精确计量,不存在活动部件无需维护,具有安装方便、结构简单、免维护、牛奶卫生质量高、计量准确等优点,是未来牛奶计量发展的方向。

[0005] 目前为止,国内外已有多家公司和科研机构开展了相关的研究工作并取得了一定的成果。国内以山东农业大学、河北农业大学、内蒙古大学和东南大学等高校为主,分别研制成功以红外线/超声波为信号的非接触式牛奶流量计。国外公司如利拉伐、阿菲金等也各自开发出了自己的非接触式牛奶流量计,性能与国内高校的基本一致。

[0006] 虽然国内外已研发出多种非接触式牛奶流量计,但是它们都存在的问题,均需要做重大改进才能满足实际需要。以山东农业大学王明江基于近红外线牛奶流量实时检测系统为例,其在实验室中测量结果极好(误差在4%左右),但是进入牧场后实际挤奶4次的误差已达8%左右,而根据我们对150头奶牛累计多次在牧场实地测量的结果,实际误差在15%左右。国外公司的产品同样是在设备优良的牧场对训练良好的奶牛测量误差较小,在负压不稳或经常被奶牛踩掉挤奶器的牧场中也是测量误差较大。

[0007] 以山东农业大学王明江基于近红外线牛奶流量实时检测系统为例,牛奶流量计算公式是直接管道中牛奶的横截面积 S 与一个确定的流速值 V 相乘得到瞬时流量值 q ,再通过累加求和得到单头奶牛的总产奶量 Q 。通常情况下,在较细的管道中且流速较慢的条件下,基本上都是这样计算水、油、奶等各种液体流量。这种计算方法的优点是简单、快速,缺点是精确度不很高。而牛奶在管道中实际的流速分布比较复杂,单一的流速值 V 不能准确的反应牛奶的实际流速。牛奶进入挤奶器后,处于负压状态向前流动,经U形管后牛奶处于塞

状流状态。在进入流量计后,奶流先是处于入口效应(因胶管套接产生的变径所导致),然后处于短暂的旋涡状态。因为牛奶含有脂肪和蛋白质等高分子颗粒,在流动过程中存在内部摩擦力。在负压、重力、内部摩擦力和管道表面摩擦力的联合作用下,牛奶处于完全湍流状态。到目前为止尚未有关于湍流流速分布的理论推导公式,现有的只是根据实践经验总结出来的近似流速分布公式。

[0008] 针对山东农业大学的检测系统经过仔细分析,发现导致流量测量误差存在的最主要原因有2点:首先,对牛奶流速的估算过于简单,与实际情况不太符合;其次,所选的STM32F103RCT6单片机不能直接进行浮点运算,直接按照整型数据处理公式的In计算,则计算结果会产生极高的误差,如果选用带有浮点运算功能的微处理器MPU,则比使用普通单片机要多花费数倍的价格。

[0009] 此外,目前已有的红外流量计都是用于牛奶流量检测,一旦用于羊奶、水牛奶、骆驼奶等其它乳液的检测则会产生较大的误差。奶液是一种混合物,主要由水、蛋白质、脂肪、乳糖、钙等少量矿物质和维生素组成。因此,不同动物乳液中的蛋白质、脂肪等大分子物质的结构和各种成分所占的比例也各不相同,导致现有的红外流量计对于蛋白质和脂肪颗粒更小的羊奶测量效果不佳。

发明内容

[0010] 为解决上述存在的技术问题,本发明提供了一种用于乳液实时流速计量的红外流量计,对于乳液流量的计算采用分段线性拟合的算法,在保证计算精度的同时避免对整型数据进行对数计算,达到与使用MPU芯片同样的应用效果,同时能够精准检测多种乳液流量,扩展红外流量计的适用性和通用性。

[0011] 为达到上述目的,本发明所采用的技术方案是:

[0012] 一种用于乳液实时流速计量的红外流量计,采用非接触式红外流量计的结构,在输奶管道两侧分别安装红外发射/接收器,通过设定的算法程序计算得出乳液的流量,所述红外发射器采用波长为820nm的红外信号发射管,所述乳液流量的算法采用分段线性拟合的方式,通过如下步骤实现:

[0013] 1) 利用A4纸模拟奶层填充流量计,测量纸张数与红外线遮挡之间的关系,纸的张数与红外线遮挡衰减基本上呈对数关系,采用分段线性拟合的方式表示,那么计算乳液厚度d的公式

$$[0014] \quad d = a_j + k_j * U \quad (1)$$

[0015] 其中, a_j 表示常系数值, k_j 表示第j条拟合线段的斜率,U表示测得的红外信号衰减,根据U的不同值域区间选择不同斜率 k_j 的拟合线段,当 $j \geq 4$ 时拟合精度误差小于1张纸;

[0016] 2) 假设以A4纸的厚度为单位将乳液分层,每层乳液的厚度是 S_0 ,由此可得到计算乳液流量的公式

$$[0017] \quad q_{(t)} = S_0 \sum_{i=1}^{d/S_0} V_{i(t)} \quad (2)$$

[0018] 3) 通过雷诺数 R_e 的计算公式计算得知,乳液在垂直安装的封闭式流量计中处于完全湍流状态,

$$[0019] \quad R_e = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (3)$$

[0020] 其中 ρ 表示液体的密度值, v 表示液体的流速, d 表示管径, μ 表示乳液的黏性系数,一般情况下乳液密度为 $1.038-1.040\text{kg}/\text{m}^3$,管道中乳液流速大体位于 $3-7\text{m}/\text{s}$ 的范围内,流量计的管径为 8mm ,黏性系数一般为 $1.2-2.5\text{cP}$,代入公式(3)后求得的雷诺数 R_e 值在 $9974-48487$;

[0021] 4) 根据工程实践中近似的流速分布公式,得到以A4纸厚度为单位的乳液分层流速分布情况,

$$[0022] \quad u = u_{\max} \left(1 - \frac{r}{R} \right)^n \quad (4)$$

[0023] 其中 u 表示液体的流速, u_{\max} 表示管道正中心液体的流速, R 表示管道半径, r 表示与管道正中心之间的距离, n 是指数, n 的取值依赖于雷诺数 R_e 值,当 $n=1/7$ 时,符合以A4纸厚度为单位的牛奶分层流速分布;

[0024] 5) 将乳液分层流速分布值代入公式(2)后求得瞬时流量值 $q_{(t)}$,获得乳液的瞬时流量与分层数之间的对应关系,为实现快速计算,采用分段线性拟合的方式求得乳液的瞬时流量近似计算公式

$$[0025] \quad q_{(t)} = b_h + k_h \times S \quad (5)$$

[0026] 其中 b_h 表示常系数值, k_h 表示第 h 条拟合线段的斜率, S 表示乳液层数值,根据不同的层数值选择斜率为 k_h 常系数为 b_h 的拟合线段;

[0027] 6) 将公式(5)与公式(1)结合得到公式

$$[0028] \quad q_{(t)} = b_h + k_h \times (a_j + k_j \times U) / S_0 \quad (6);$$

[0029] 7) 将公式(6)整理化简后得到公式

$$[0030] \quad q_{(t)} = b_i + k_i \times U \quad (7)$$

[0031] 其中 $b_i = b_h + k_h \times a_j \div S_0$, $k_i = k_h \times k_j \div S_0$,直接反应出瞬时流量与红外信号衰减量之间的近似对应关系。

[0032] 所述乳液流量算法中引入测量权重 w_j 来描述红外信号衰减量出现的频率,在计算公式(7)中的系数 b_i 和 k_i 时需要满足公式(8)中 y 值最小的约束

$$[0033] \quad y = \sum w_j \cdot \| q_{(t)} - b_i - k_i \times U \|_2 \quad (8)。$$

[0034] 所述红外流量计竖直安装,安装时前后左右的倾斜角度均 $<15^\circ$,所述红外流量计上部接口和下部接口必须连接不短于 20cm 的直管后再接入乳液流通弯道或弯头。

[0035] 本发明采用非接触式红外流量计的结构,选择波长为 820nm 的红外发射管作为红外发射器,使其既能精确检测大颗粒的牛奶、水牛奶流量,又能精确检测小颗粒的羊奶、骆驼奶流量,应用更加广泛;重新设计了乳液流量的计算算法,采用分段线性拟合的方式,计量精确,牧场实际称量数据与流量计计量数据之间的平均误差 $\leq 5\%$,完全能够满足牧场误差 $\leq 10\%$ 的生产需要,使用普通单片即可实现,既解决了原有非接触式红外流量计计量误差大的问题,又无需承担更换带有浮点运算功能的微处理器带来的高于原价数倍的制作成本,低成本获得高性能,适合大规模推广应用。

附图说明

- [0036] 图1为A4纸张模拟奶层实验中纸张数与红外线遮挡之间的关系示意图；
 [0037] 图2为将图1关系图分段线性拟合后的示意图；
 [0038] 图3为乳液分层流速分布示意图；
 [0039] 图4为乳液瞬时流量与分层数的对应关系示意图；
 [0040] 图5为乳液瞬时流量与信号衰减之间的分段近似线性关系图；
 [0041] 图6为测量权重取值示意图。

具体实施方式

[0042] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细描述：

[0043] 本发明在结构上采用非接触式红外流量计的结构，在书奶管道两侧分别安装红外发射/接收器，通过设定的算法程序计算得出乳液的实时流量。本领域技术人员应该了解，所有哺乳动物的乳液均是由水、蛋白质、脂肪、乳糖等多种物质组成的混合物，而不同动物的乳液要靠各种物质的分子结构和成分比例进行区分。与牛奶相比羊奶和骆驼奶的蛋白质颗粒和脂肪颗粒尺度更小，检测所需的红外信号波长应更短。牛奶含有大量高分子团，其吸收光谱主要集中在700-1100nm的波长区域，目前的红外流量计一般是选择市场比较流行的940-960nm波长红外信号发射管^[1,8]。而本发明采用波长更短的820nm红外发射管，它同样在700-1100nm的波长范围以内并不影响牛奶的检测，同时也适合检测富含更小颗粒的羊奶、骆驼奶等多种乳液的流量，扩展了红外流量计的适用性和通用性。

[0044] 根据前述的牛奶计量算法的分析得知，将牛奶的横截面积S与近似流速分布特征相结合，由此推算出来的流量值和实际测量值更加符合，两者之间的误差显著缩小，完全能够满足牧场乳液生产的实际需求，本发明也因此对于乳液的实时流量算法进行了采用分段线性拟合方式的调整。

[0045] 本发明所述乳液流量的算法采用分段线性拟合的方式，避免了对于整型数据进行对数计算，采用普通单片机即可实现，解决了测量精度的问题，同时极大地降低了制作成本，具体算法通过如下步骤实现。

[0046] 1) 利用A4纸模拟奶层填充流量计，测量纸张数与红外线遮挡之间的关系如图1所示，纸的张数与红外线遮挡衰减基本上呈对数关系，采用分段线性拟合的方式表示如图2所示，那么计算乳液厚度d的公式

$$[0047] \quad d = a_j + k_j * U \quad (1)$$

[0048] 其中， a_j 表示常系数值， k_j 表示第j条拟合线段的斜率，U表示测得的红外信号衰减，根据U的不同值域区间选择不同斜率 k_j 的拟合线段，当 $j \geq 4$ 时拟合精度误差小于1张纸。

[0049] 2) 假设以A4纸的厚度为单位将乳液分层，每层乳液的厚度是 S_0 ，由此可得到计算乳液流量的公式

$$[0050] \quad q_{(t)} = S_0 \sum_{i=1}^{d/S_0} V_{i(t)} \quad (2)$$

[0051] 3) 乳液在垂直安装的封闭式流量计中主要受到重力、负压、内摩擦力和管道摩擦力的作用。考虑到乳液粘度和管道摩擦力的影响，它会先在管道的内表面形成附面层，附面层的乳液流速极低，形成所谓的“壁挂”，雷诺数 R_e 是用以判别粘性流体流动状态的参数。通

过雷诺数 R_e 的计算公式计算得知,乳液在垂直安装的封闭式流量计中处于完全湍流状态,

$$[0052] \quad R_e = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (3)。$$

[0053] 其中 ρ 表示液体的密度值, v 表示液体的流速, d 表示管径, μ 表示乳液的黏性系数,乳液的密度和黏性系数与它的含水量高低有关,一般情况下乳液密度为 $1.038-1.040\text{kg}/\text{m}^3$,因为负压值设置不同,管道中乳液流速大体位于 $3-7\text{m}/\text{s}$ 的范围内,流量计的管径为 8mm ,黏性系数一般为 $1.2-2.5\text{cP}$,代入公式(3)后求得的雷诺数 R_e 值在 $9974-48487$,远超过渡区域值 4000 ,所以乳液处于完全湍流状态。

[0054] 4) 目前尚未有湍流流速分布的理论公式,只能根据经验得到近似的流速分布公式。相关文献显示在类似条件下,液体在管道中心流速越高,越接近管道壁流速越低,在管道壁流速快速接近于 0 。根据工程实践中近似的流速分布公式,得到以A4纸厚度为单位的乳液分层流速分布情况,

$$[0055] \quad u = u_{\max} \left(1 - \frac{r}{R} \right)^n \quad (4)$$

[0056] 其中 u 表示液体的流速, u_{\max} 表示管道正中心液体的流速, R 表示管道半径, r 表示与管道正中心之间的距离, n 是指数, n 的取值依赖于雷诺数 R_e 值,当 $4 \times 10^3 \leq R_e < 1.1 \times 10^5$ 时, $n=1/6$;当 $1.1 \times 10^5 \leq R_e < 3.2 \times 10^6$ 时, $n=1/7$;当 $3.2 \times 10^6 \leq R_e$ 时, $n=1/10$ 。经验证当 $n=1/7$ 时,符合以A4纸厚度为单位的牛奶分层流速分布如图3所示。

[0057] 5) 将乳液分层流速分布值代入公式(2)后求得瞬时流量值 $q_{(t)}$,获得乳液的瞬时流量与分层数之间的对应关系如图4所示,为实现快速计算,采用分段线性拟合的方式求得乳液的瞬时流量近似计算公式

$$[0058] \quad q_{(t)} = b_h + k_h \times S \quad (5)$$

[0059] 其中 b_h 表示常系数值, k_h 表示第 h 条拟合线段的斜率, S 表示乳液层数值,根据不同的层数值选择斜率为 k_h 常系数为 b_h 的拟合线段。

[0060] 6) 将公式(5)与公式(1)结合得到公式

$$[0061] \quad q_{(t)} = b_h + k_h \times (a_j + k_j \times U) / S_0 \quad (6)。$$

[0062] 7) 将公式(6)整理化简后得到公式

$$[0063] \quad q_{(t)} = b_i + k_i \times U \quad (7)$$

[0064] 其中 $b_i = b_h + k_h \times a_j \div S_0$, $k_i = k_h \times k_j \div S_0$,直接反应出瞬时流量与红外信号衰减之间的近似对应关系如图5所示,无需执行误差较大的整型数据对数运算,实现了高精度乳液流量计算。

[0065] 为了更进一步缩小近似计算产生的误差,作为优选的方式,所述乳液流量算法中引入测量权重 w_j 来描述红外信号衰减量出现的频率, w_j 的取值如图6所示,在计算公式(7)中的系数 b_i 和 k_i 时需要满足公式(8)中 y 值最小的约束

$$[0066] \quad y = \sum w_j \| |q_{(t)} - b_i - k_i \times U| \|_2 \quad (8)。$$

[0067] 作为优选的方式,所述红外流量计竖直安装,安装时前后左右的倾斜角度均 $< 15^\circ$,所述红外流量计上部接口和下部接口必须连接不短于 20cm 的直管后再接入乳液流通弯道或弯头。

[0068] 本发明设计的红外流量计遵循理想状态的流体力学模型,因此有严格的安装要

求。本发明流量计必须垂直安装,前后左右的倾斜角度均需 $<15^{\circ}$,流量计的上部接口和下部接口必须连接不短于20cm的直管后方可接入弯道或者弯头。因为理想模型只考虑了乳液重力和负压的作用,忽略了管壁斜坡的影响,所以要求流量计垂直安装。由于流量计的管道长度较短,当倾斜角度 $<15^{\circ}$ 时实际流速与理论流速的误差较小,可以近似认为一致。因为乳液流经弯头或弯管时流速分布会重新调整,将形成短暂的涡流等情况。乳液流经上部接口连接的20cm直管后,将重新恢复到流速分布相对稳定的状态,可以减小流量计算的误差。而流量计下部连接的弯管或弯头同样也会降低乳液的流速,这样会导致弯管或弯头出口流速小于入口流速,形成堵塞。流量计下部接所连接的20cm直管可以作为缓冲区,防止乳液堵塞至红外测量区域,避免产生测量误差。

[0069] 当然,上述说明并非是对本发明的限制,本发明也并不仅限于上述举例,本技术领域的技术人员在本发明的实质范围内所做出的变化、改型、添加或替换,也应属于本发明的保护范围。

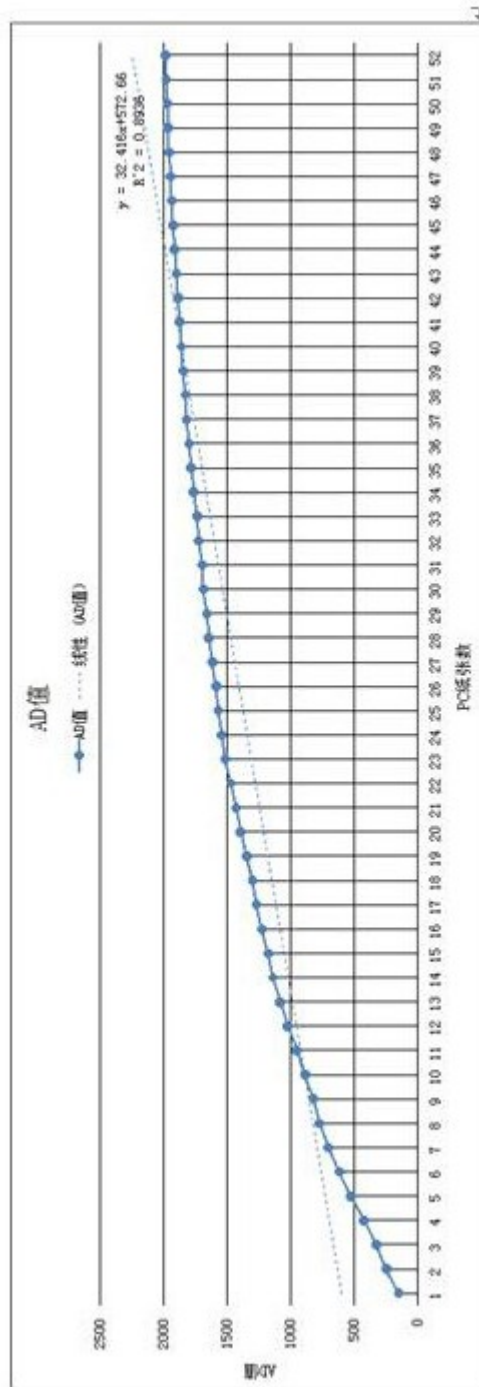


图1

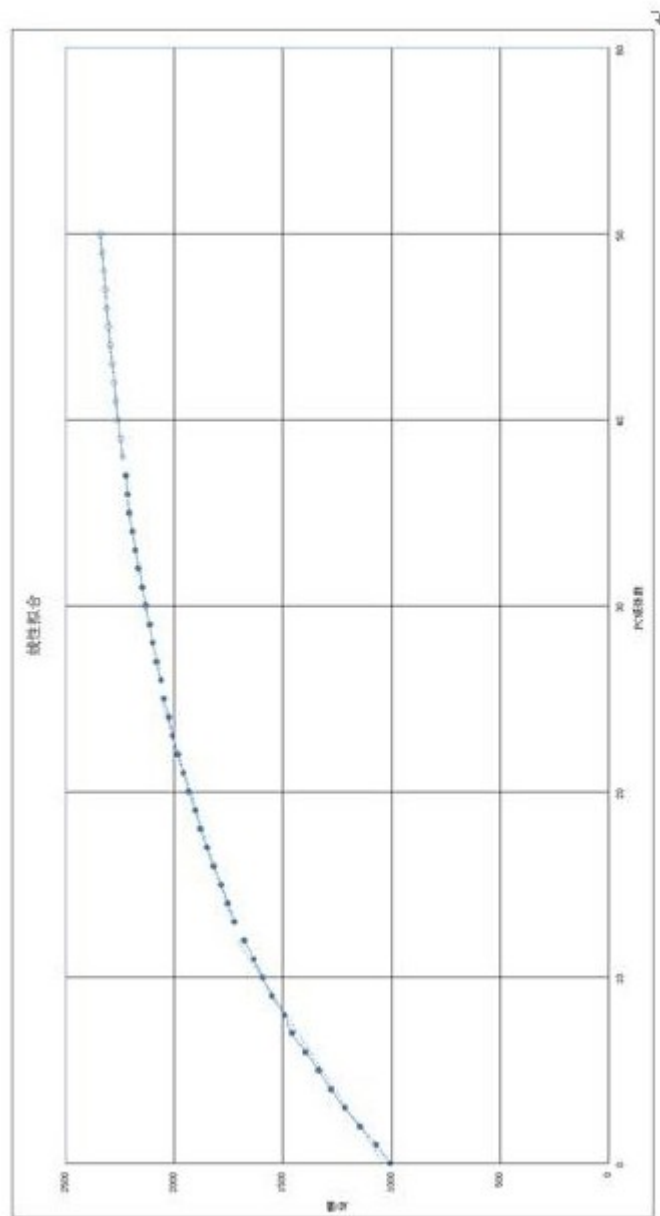


图2

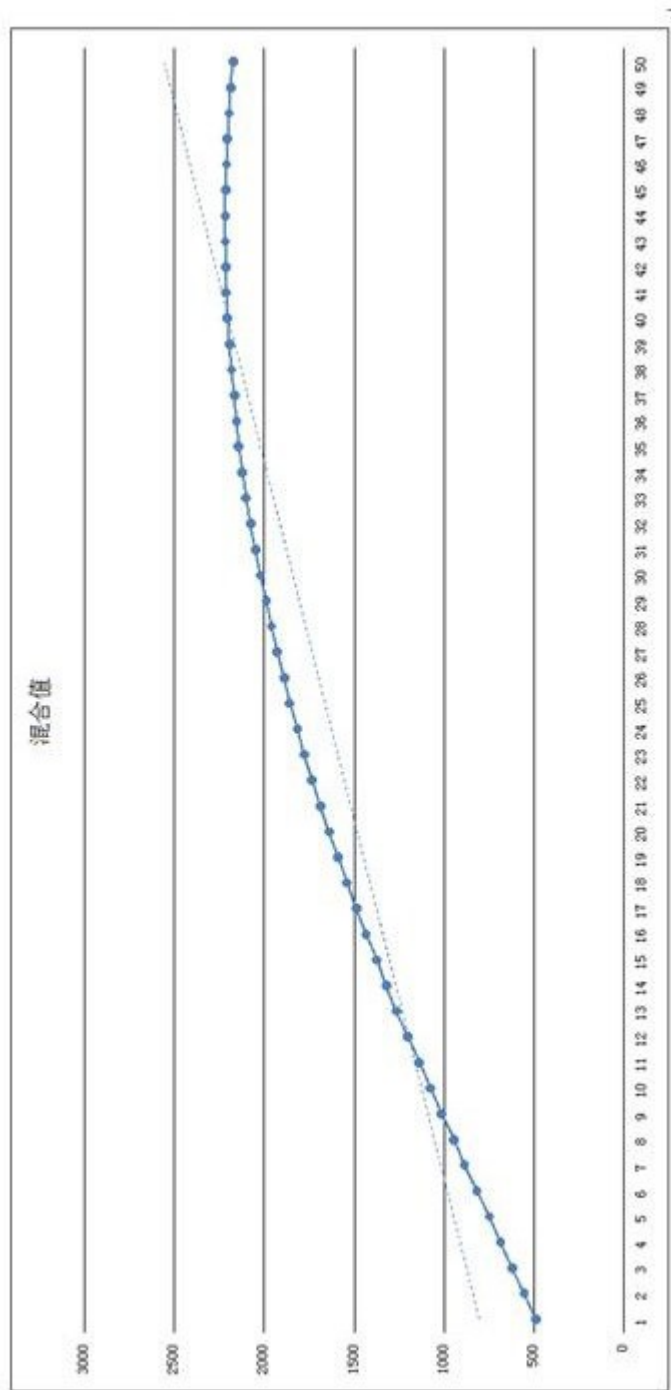


图3

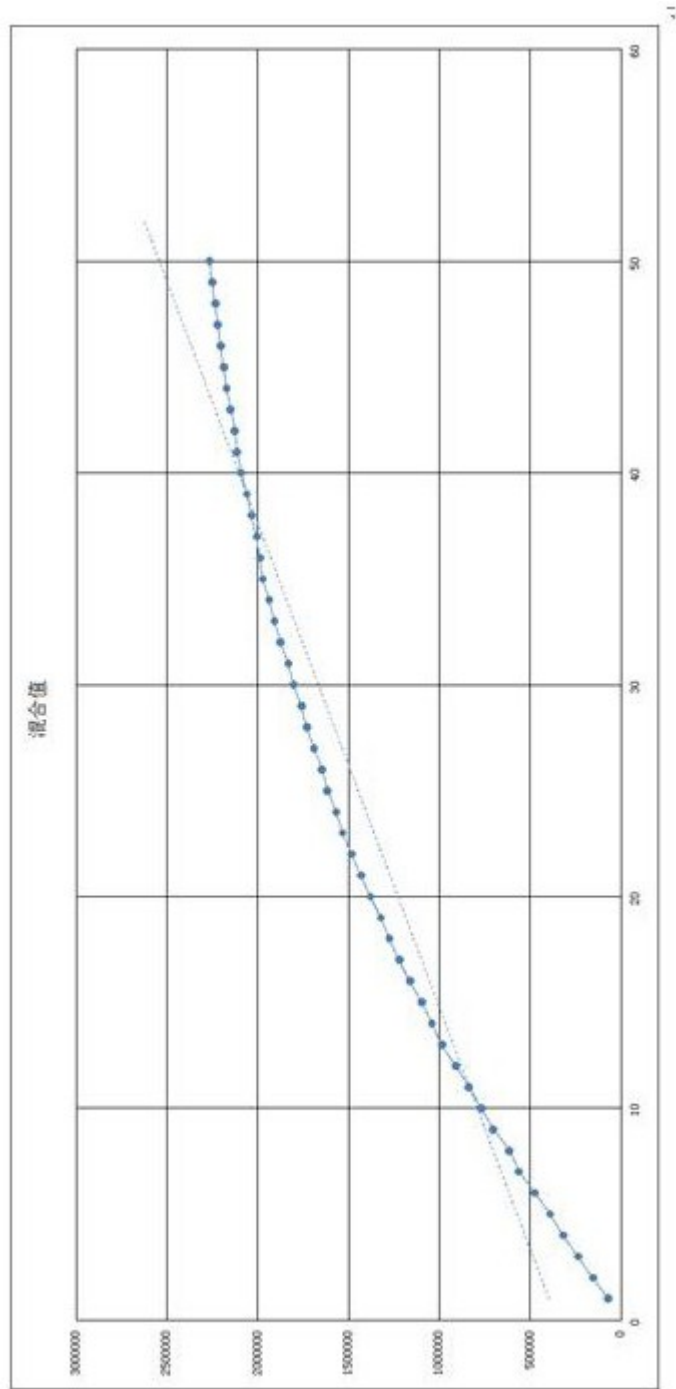


图4

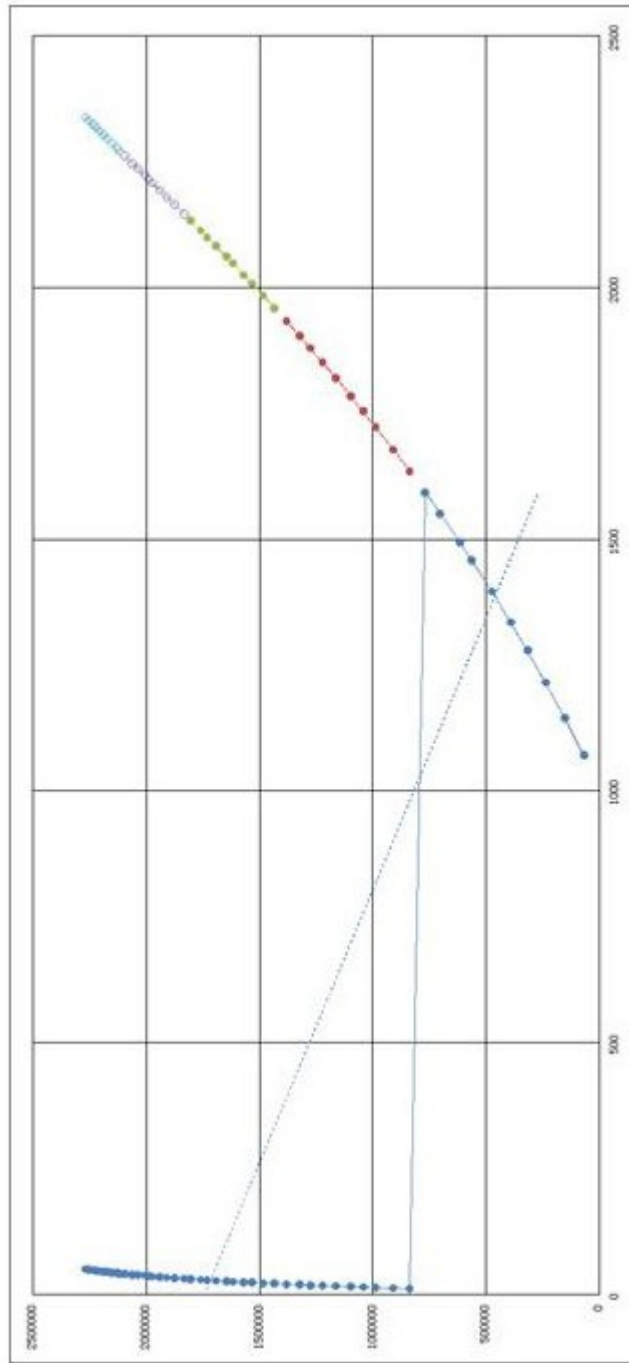


图5

