

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B29C 41/02 (2006.01)

B29C 47/00 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02824132.0

[45] 授权公告日 2008年8月27日

[11] 授权公告号 CN 100413668C

[22] 申请日 2002.11.14 [21] 申请号 02824132.0

[30] 优先权

[32] 2001.12.18 [33] US [31] 10/025,207

[86] 国际申请 PCT/US2002/036627 2002.11.14

[87] 国际公布 WO2003/051598 英 2003.6.26

[85] 进入国家阶段日期 2004.6.2

[73] 专利权人 斯特拉塔西斯公司

地址 美国明尼苏达州

[72] 发明人 詹姆斯·W·科姆

[56] 参考文献

US 6129872 2000.10.10

审查员 张云志

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

代理人 宋合成

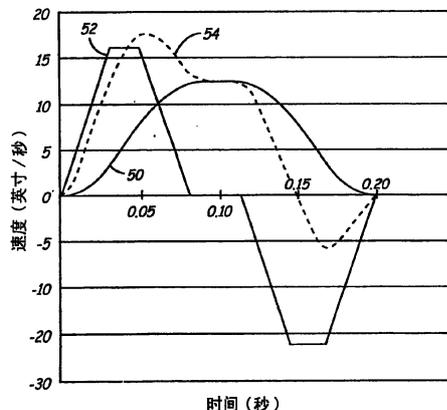
权利要求书 3 页 说明书 11 页 附图 4 页

[54] 发明名称

挤压设备中的液化器泵控制

[57] 摘要

挤压设备(10)采用用于控制液化器(26)的输出流量的方法。挤压设备(10)包括沿预定的工具路径以挤压头速度可移动的挤压头(20)。挤压头(20)携带液化器(26)。液化器(26)接收固体成分的模制材料(14)，加热所述模制材料，并且以输出流量输出所述模制材料流。采用材料前进机构以控制所述输出流量的输入流量将所述模制材料(14)的固体成分供给到所述液化器(26)。为了控制所述输出流量，基于所述工具路径确定挤压头速度分布图。然后，控制到所述液化器(26)的模制材料(14)的输入流量，以产生与相应于挤压头速度分布图的当前挤压头速度成比例的从所述液化器(26)流出的模制材料的输出流量。



1. 一种用于在具有挤压头的挤压设备中控制输出流量的方法，挤压头包括液化器，所述液化器接收固体成分的模制材料，加热所述模制材料，并且以输出流量输出所述模制材料流，同时所述挤压头以挤压头速度沿预定工具路径移动，所述挤压设备利用材料前进机构以便以控制所述输出流量的输入流量将所述固体成分的模制材料供给到所述液化器，所述用于控制所述输出流量的方法包括：

基于所述工具路径确定挤压头速度分布图；以及  
控制到所述液化器的模制材料的输入流量，以便从所述液化器产生与当前挤压头速度成比例的模制材料的输出流量，所述当前挤压头速度与所述挤压头速度分布图相应。

2. 根据权利要求1所述的方法，其特征在于，确定所述挤压头速度分布图包括：

基于工具路径的各部分的形状确定用于所述工具路径的各部分的最大挤压头速度；以及

确定连续的挤压头加速度和减速度。

3. 根据权利要求2所述的方法，其特征在于，所述挤压头加速度和减速度具有恒定的有限加加速度项。

4. 根据权利要求2所述的方法，其特征在于，所述挤压头加速度和减速度具有绝对值低于基于所述液化器容量的预定阈值的加加速度项。

5. 根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述挤压头速度分布图是S分布图。

6. 根据权利要求1所述的方法，其特征在于，还包括：

基于所述工具路径确定挤压头加速度分布图；以及

基于挤压头速度分布图，挤压头加速度分布图以及时间常数计算模制材料到所述液化器的所述输入流量；

其中模制材料到所述液化器的所述输入流量被控制以便匹配所述计算的输入流量。

7. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,计算模制材料到所述液化器的所述输入流量包括求解控制所述液化器性能的微分方程。

8. 根据权利要求7所述的方法,其特征在于,所述微分方程为:

$$Q_i = A \cdot (V_{xy} + (\tau \cdot A_{xy}))$$

其中  $Q_i$  是输入流量,  $A$  是挤压出的模制材料的珠的截面面积,  $V_{xy}$  是挤压头速度,  $\tau$  是时间常数, 且  $A_{xy}$  是挤压头加速度。

9. 一种挤压设备, 包括:

用于基于预定的工具路径确定挤压头速度分布图的确系统;

沿所述预定的工具路径以挤压头速度可移动的挤压头;

液化器, 所述液化器由挤压头携带, 并接收固体成分的模制材料, 加热所述模制材料, 并且以输出流量输出所述模制材料流; 以及

材料前进机构, 所述材料前进机构以控制所述输出流量的输入流量将所述固体成分的模制材料供给到所述液化器;

其特征在于,

用于将控制信号提供给所述材料前进机构的控制系统, 所述控制信号指令所述材料前进机构的操作, 以便具有到所述液化器的模制材料的输入流量, 所述到所述液化器的模制材料的输入流量产生与当前挤压头速度成比例的从所述液化器流出的模制材料的输出流量, 所述当前挤压头速度与所述挤压头速度分布图相应。

10. 根据权利要求9所述的挤压设备, 其特征在于, 所述挤压头速度分布图具有连续的加速度和减速度。

11. 根据权利要求10所述的挤压设备, 其特征在于, 所述挤压头速度分布图是S分布图。

12. 根据权利要求9所述的挤压设备, 其特征在于, 所述控制系统可操作以基于当前挤压头速度, 当前挤压头加速度以及时间常数计算模制材料到所述液化器的所述输入流量, 所述输入流量是取得从所述液化器流出的模制材料的输出流量所需要, 且所述输出流量与相应于所述挤压头速度分布图的当前挤压头速度成比例。

13. 根据权利要求12所述的挤压设备, 其特征在于, 通过求解控制所述液化器性能的微分方程所述控制系统计算出模制材料到所述液化器的

所述输入流量。

14. 根据权利要求 13 所述的挤压设备,其特征在于,所述微分方程为:

$$Q_i = A \cdot (V_{xy} + (\tau \cdot A_{xy}))$$

其中  $Q_i$  是输入流量,  $A$  是挤压出的模制材料的珠的截面面积,  $V_{xy}$  是当前挤压头速度,  $\tau$  是时间常数, 并且  $A_{xy}$  是当前挤压头加速度。

## 挤压设备中的液化器泵控制

### 技术领域

本发明涉及利用基于挤压的成层制造工艺的三维物体的制造。本发明尤其涉及一种系统和方法，该系统和方法用于：当模制材料相对于基底以预定的图案以三维挤出时，以将产生与挤压头的变化速度相关的液化器的输出流量的流量，将固体模制材料供给挤压头载有的液化器。

### 背景技术

三维模型用于包括审美判断，证明数学模型，形成坚硬工具，研究干涉以及空间定位的功能，以及测试功能性。基于挤压的成层制造设备基于从计算机辅助设计（CAD）系统提供的设计数据通过从挤压头以预定的图案挤出可固化的模制材料建立三位模型。在 Crump 的美国专利 No. 5,121,329，Crump 的美国专利 No. 5,340,433，Danforth 等的美国专利 No. 5,738,817，Batchelder 等的美国专利 No. 5,764,521 以及 Daulin 等的美国专利 No. 6,022,207 中描述了用于制造三维物体的挤压设备和方法的例子，所述上述专利都让与本发明的受让人 Stratasys, Inc.。

液体或固体模制材料的原料提供给挤压头。模制材料的原料是固体形式的情况下，挤压头将原料升高到用于沉积的可流动温度。一种技术以细丝束的形式提供模制材料到挤压头。

在采用细丝供给的当前技术的 Stratasys FDM®模制设备中，当柔性细丝卷绕在供给卷轴上时模制材料装载到该设备中，诸如美国专利 No. 5,121,329 中所披露的那样。可固化材料用作模制材料，可固化材料一固化就以适当的粘接力附着在前面的层上并且它能够作为柔性细丝供给。电机驱动送料滚筒使细丝束前进到挤压头带有的液化器中。在液化器内部，细丝被加热到可流动温度。可流动模制材料在液化器的远端上被强制从喷嘴喷出并且从液化器沉积到基底上。将细丝推入液化器的电机驱动送料滚筒

产生“液化器泵”，其中细丝自身用作活塞。当供料滚筒使细丝前进到液化器中时，进入的细丝束的作用力从喷嘴挤出可流动的材料。从喷嘴挤出的材料的流量是细丝前进到挤压头的速度的函数。该流量通过控制细丝进入挤压头中的速度而被控制。控制器控制沿水平（ $x, y$ ）平面的挤压头运动，控制沿垂直的  $z$  方向的基底运动，并且控制供料滚筒使细丝前进的速度。通过同步控制这些处理变量，模制材料沿从 CAD 模型限定的工具路径一层一层地以珠状沉积。被挤出的材料熔合到在先沉积的材料并且固化，从而形成似 CAD 模型的三维物体。

液化器泵传送的挤出材料具有应当理想地被控制以产生精确模型的横截面的珠。通常，恒定的珠宽度是期望的。珠宽度与从泵中出来的材料的流量以及挤压头速度有关。珠宽度还受挤压喷嘴末端和在先挤出的层（或基底）之间的间隙影响。如果挤压头的速度将改变，同时流量保持恒定，则珠宽度也变化。

现有技术中一种类型的迅速原型制作系统沿包括折线的工具路径以恒定的速度驱动挤压头的运动。折线是在每个顶点的  $X-Y$  坐标列表限定的直线段的连续曲线。挤压头的速度被预先选择，以便完成沿折线迅速移动挤压头的总体目标，同时使从工具路径的位移最小。结果，挤压头速度必须设定得足够低，以便与设计工具路径的偏离不超过用于沿所述折线的最大偏离的最大允许跟踪误差。因此这种类型的系统不能利用本可以沿折线的一些较直部分采用的较高挤压头速度，从而限于可用于具有较大偏离角的折线的任何部分的最低的最大速度。

现有技术中的另一种类型的原型制作系统允许挤压头速度变化，以便增加模制设备的生产能力。挤压头沿工具路径中的直线部分加速，在具有偏离角或顶点的位置减速。美国专利 No. 6,054,077 描述了用于改变挤压头速度的这种技术，在示例性实施例中，利用了  $X-Y$  轨迹成形，该成形跟随液化器泵的指数阶跃响应。挤压头的速度分布图就像“鲨鱼牙齿”，同时泵抽吸分布图遵循阶跃函数。

采用任何基于挤压的原型制作系统，目的都是以与挤压头速度有关的流量（称作液化器的输出流量）挤出液化的模制材料，同时还最大化挤压头速度。本发明的主题是一种系统和方法，该系统和方法通过控制液化器

输出流量以匹配根据工具路径形状确定的挤压头速度分布图，改进原型制作系统能力以满足这一目的。

### 发明内容

本发明是采用用于控制液化器的输出流量的方法的挤压设备。所述挤压设备包括沿预定工具路径以挤压头速度移动的挤压头。挤压头携带液化器。液化器接收固体成分的模制材料，加热所述模制材料，并且以输出流量输出所述模制材料流。采用材料前进机构以控制所述输出流量的输入流量将所述固体成分的模制材料供给到所述液化器。为了控制所述输出流量，基于所述工具路径确定挤压头速度分布图。然后，控制到所述液化器的模制材料的输入流量，以产生与相应于挤压头速度分布图的当前挤压头速度成比例的从所述液化器流出的模制材料的输出流量。

由此，根据本发明的一个方面，提出一种挤压设备，包括：用于基于预定的工具路径确定挤压头速度分布图的确系统；沿所述预定的工具路径以挤压头速度可移动的挤压头；液化器，所述液化器由挤压头携带，并接收固体成分的模制材料，加热所述模制材料，并且以输出流量输出所述模制材料流；以及材料前进机构，所述材料前进机构以控制所述输出流量的输入流量将所述固体成分的模制材料供给到所述液化器；和用于将控制信号提供给所述材料前进机构的控制系统，所述控制信号指令所述材料前进机构的操作，以便具有到所述液化器的模制材料的输入流量，所述到所述液化器的模制材料的输入流量产生与当前挤压头速度成比例的从所述液化器流出的模制材料的输出流量，所述当前挤压头速度与所述挤压头速度分布图相应。

根据本发明的另一方面，提出一种用于在具有挤压头的挤压设备中控制输出流量的方法，挤压头包括液化器，所述液化器接收固体成分的模制材料，加热所述模制材料，并且以输出流量输出所述模制材料流，同时所述挤压头以挤压头速度沿预定工具路径移动，所述挤压设备利用材料前进机构以便以控制所述输出流量的输入流量将所述固体成分的模制材料供给到所述液化器，所述用于控制所述输出流量的方法包括：基于所述工具路径确定挤压头速度分布图；以及控制到所述液化器的模制材料的输入流

量，以便从所述液化器产生与当前挤压头速度成比例的模制材料的输出流量，所述当前挤压头速度与所述挤压头速度分布图相应。

#### 附图说明

图 1 是三维模制设备中的液化器泵挤压设备的透视概略视图。

图 2A 是描述在初始时刻供给到液化器的细丝束的视图。

图 2B 是描述在初始时刻之后的短时间供给到图 2A 中所示的液化器的细丝束的进展的视图。

图 3 是根据本发明的用于实现 S 成型的挤压头速度分布图，加速度分布图以及加加速度分布图的图示。

图 4 是在本发明示例性实施例的操作中实现的挤压头速度分布图，加速度分布图以及液化器输入流量的图示。

#### 具体实施方式

本发明的方法和设备可以用于从液化器泵挤出模制材料的挤压系统。特别是可以用于各种类型的模制或原型制作系统，该系统利用挤压头沉积被加热为可流动材料的“道路”，并且该材料温度一降低就收缩并且固化，以形成固体模型。优选的材料沉积和成形过程是美国专利 No. 5,121,329 中披露的类型。

图 1 示出了示例性的三维模制设备 10，所述模制设备 10 具有在控制器 25 的控制下沉积模制材料的挤压头 20。挤压头 20 带有液化器 26，液化器 26 接收模制材料的原料并且将其加热到挤压需要的温度。熔化的模制材料从液化器 26 的末端 30 以珠 21 沉积到平面基底 32（部分示出）上。在所示的优选实施例中，模制材料原料是柔性细丝 14。细丝通常具有小直径，诸如 0.070 英寸数量级。带有细丝 14 圈的线轴 12 安装在心轴 16 上。细丝 14 束通过引导管 18 供给，引导管 18 将细丝 14 束传送到挤压头 20。材料前进机构 23 包括电机 24 驱动的一对供给滚筒 22 并且以受控速度将细丝 14 进给到液化器 26 中。液化器 26，细丝 14 以及材料前进机构 23 一起形成液化器泵。

液化器 26 通过供给滚筒 22 将细丝 14 束进给到液化器 26 中的抽吸而

被加压。细丝 14 束用作柱塞。该加压以输出流量 ( $Q_0$ ) 将熔化的材料从末端 30 推出来。流入泵中的液体材料的体积流量 ( $Q_i$ ) 通过调节供给滚筒 22 的转速而控制。如图所示, 供给滚筒 22 中的一个是在控制器 25 的控制下由电机 24 驱动的驱动滚筒。另一个滚筒 22 是空转滚筒。控制器 25 通过将控制信号提供给驱动滚筒 22 的电机 24 而控制泵输入流量  $Q_i$ 。

挤压头 20 由 x-y 传送器 34 在水平 (x, y) 平面中沿工具路径驱动, 传送器 34 从控制器 25 根据从 CAD 模型得出的设计数据接收驱动信号。当挤压头 20 沿 x, y 平面平移时, 熔化的模制材料从末端 30 逐层地可控制地分配到基底 32 上。在分配每一层之后, 基底 32 由 z 轴传送器 36 沿垂直的 z 轴降低预定的增量, z 轴传送器 36 也从控制器 25 接收驱动信号。分配的材料熔合并且固化, 从而形成类似 CAD 模型的三维物体。用于构造支撑结构的模制材料可以以类似的方式与用于构造物体的模制材料的分配协调地分配, 以便在它在构造时支撑部分物体。

通过在本领域的内容可以理解, 模制设备和工艺的变化是可能的。例如, 挤压头 20 和基底 32 之间任何三维相对运动可以用于构造物体。模制材料的原料, 液化器和材料前进机构可以采用多种形式。

图 2A 和 2B 是描述液化器 26 的操作的视图。在示例性的基于挤压的原型制作设备中, 液化器 26 以四个挤压阶段操作: 预抽吸, 加速, 减速以及反吸。预抽吸阶段指在材料从液化器 26 挤出之前模制材料输入到液化器 26 之后当存在预抽吸时间延迟时的初始“装料”时间段。反吸阶段指当细丝速度反向 (从液化器 26 吸回) 以防止过多的模制材料被挤出时的时间段。图 2A 和 2B 和伴随的讨论指液化器 26 的实际操作阶段, 该阶段是加速和减速阶段。

图 2A 示出了初始时刻供给液化器 26 的细丝 14 束, 图 2B 示出了短时间 ( $\Delta t$ ) 之后细丝 14 束的进展。液化器 26 以输入流量 ( $Q_i$ ) 接收细丝 14 束。细丝 14 被加热到半液体状态并且以输出流量 ( $Q_o$ ) 从液化器 26 的末端挤出。液化器 26 的流体体积 ( $V$ ) 随着细丝 14 供给到液化器管中而变化。图 2B 示出了由于模制材料的输入和输出流量发生的体积变化。如果固体细丝的输入体积 ( $V_i$ ) 在时间  $\Delta t$  期间大于可流动材料的输出体积 ( $V_o$ ), 液化器中的材料的数量增加 (或被压缩), 由此增加了材料的压力

以及相关的流量。液化器 26 的流体体积 ( $\Delta V$ ) 的变化可以数学表示为:

$$\begin{aligned}\Delta V &= V_i - V_o = (Q_i)(\Delta t) - (Q_o)(\Delta t) \\ &= (Q_i - Q_o)(\Delta t)\end{aligned}\quad (1)$$

液化器系统的容量 ( $C$ ) 可以定义为单位压力改变 ( $\Delta P$ ) 的流体体积变化 ( $\Delta V$ ), 或:

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta P}\quad (2)$$

液化器系统的阻力 ( $R$ ) 可以定义为单位输出流量改变 ( $\Delta Q_o$ ) 的压力变化 ( $\Delta P$ ), 或:

$$R = \frac{\Delta P}{\Delta Q_o}\quad (3)$$

整理等式 (2) 得:

$$\Delta P = \frac{\Delta V}{C}\quad (4)$$

代入等式 (1) 的  $\Delta V$  并且用  $\Delta t$  除等式两边得:

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{(Q_i - Q_o)}{C}\quad (5)$$

代入等式 (3) 的  $\Delta P$  并且整理等式得:

$$\frac{\Delta Q_o}{\Delta t} = \frac{(Q_i - Q_o)}{R * C}\quad (6)$$

定义液化器系统的时间常数 ( $\tau = R * C$ ) 得:

$$\frac{\Delta Q_o}{\Delta t} = \frac{(Q_i - Q_o)}{\tau}\quad (7)$$

当  $\Delta t$  趋于零时取极限得到定义液化器系统的性能的微分方程:

$$\frac{dQ_o}{dt} = \frac{(Q_i - Q_o)}{\tau}\quad (8)$$

根据本发明, 该控制等式 (8) 用于计算产生期望输出流量 ( $Q_o$ ) 需要的输入流量 ( $Q_i$ )。本发明在时间的任意点控制输出流量 ( $Q_o$ ), 以便通过挤压头截面面积 ( $A$ ) 的系数与挤压头的 x-y 速度成比例, 由此产生挤出的模制材料的恒定珠宽度。从而本发明允许挤压头的 x-y 速度被优化为时间的函数, 而不必考虑液化器的流量响应。挤压头速度分布图基于挤压头跟踪的工具路径复数个部分的形状确定。该分布图能够由任何本领域公知的方法确定, 包括授予 Leavitt 等的美国专利 No. 6,028,410 中披露的方法, 该专利让与 Stratasys Inc, 即本发明的受让人。挤压头控制系统接收挤

压头速度分布图并且允许挤压头沿工具路径折线加速和减速，以实现最大生产能力，而模制材料的输出流量（ $Q_o$ ）被控制与挤压头速度分布图成比例。

解上述用于计算输入流量（ $Q_i$ ）的等式（8），代入  $Q_o = A * V_{xy}$  并且整理结果，得到根据本发明的用于计算输入流量（ $Q_i$ ）的等式：

$$Q_i = A * (V_{xy} + \tau \left( \frac{dV_{xy}}{dt} \right)) \quad (9a)$$

或

$$Q_i = A * (V_{xy} + (\tau * A_{xy})) \quad (9b)$$

其中  $A_{xy}$  是挤压头的 x-y 加速度。

对于已知（控制）的挤压头速度（ $V_{xy}$ ）和加速度（ $A_{xy}$ ），系统的时间常数（ $\tau$ ）在输入流量等式中是唯一的未知参数。时间常数等于阻力和系统容量的乘积并且能够通过实验或计算得出。下面的分析示出了时间常数的计算。

上述等式（2）可以重写为：

$$C = \frac{V_L}{B} \quad (10)$$

其中  $B$  是系统采用的模制材料的体积模量，定义为：

$$B = \frac{\Delta P}{\Delta V / V_L} \quad (11)$$

并且  $V_L$  表示液化器 26 的体积。在压力下的模制材料的特性可以从备有证明文件的实验获得并且用于确定材料的体积模量。例如，在 250°C 时的 ABS 热塑性塑料的比容从大气压下每克 1.07 立方厘米的数值变化到在 400 bar（5880 每平方英寸磅（psi））下每克 1.04 立方厘米的数值。由这些数值，可以获得 ABS 热塑性塑料的体积模量：

$$B = \frac{5880}{(1.07 - 1.04) / 1.04} = 210,000 \text{psi} \quad (12)$$

示例性的液化器 26 是 0.075 英寸直径（0.0375 英寸的半径）的管，该管大约 2 英寸长，因此：

$$V_L = \pi r^2 h = (\pi)(0.0375^2)(2) = 0.0088 \text{in}^3 \quad (13)$$

将该参数代入等式（10）得：

$$C = \frac{V_L}{B} = \frac{0.0088}{210,000} = 41.9 * 10^{-9} \text{ in}^3 / \text{psi} \quad (14)$$

示例性液化器 26 的流动阻力可以通过实验求出。在以每秒  $2000 * 10^{-6}$  立方英寸 ( $\text{in}^3/\text{sec}$ ) 的流量运行的 2 英寸长的液化器管上进行的实验表明需要 5.5 磅作用力 (lbf) 的细丝力，以保持该流量。这种情况对于 0.070 英寸直径的细丝产生了 1430 psi 的供给压力。结果，系统的阻力可以如下计算：

$$R = \frac{P}{Q_0} = \frac{1430}{2000 * 10^{-6}} = 715,000 \text{ psi} / (\text{in}^3 / \text{sec}) \quad (15)$$

使确定的阻力值 (R) 和容量 (C) 相乘，求出时间常数：

$$\tau = R * C = 715,000 * (41.9 * 10^{-9}) = 0.030 \text{ sec} \quad (16)$$

系统的时间常数的该数值相当接近（在 10% 之内）对 Stratasys FDM<sup>®</sup> 三维模制设备进行的实验所获得的数值。由于液化器内的复杂的热分布以及热塑性塑料材料的复杂的性能，因此预期时间常数具有较小变化。在实际使用中，用于系统的控制公式中的  $\tau$  的数值将稍稍调节，以便在实际试验部分和设备上产生最一致的珠宽度。

### 本发明的实施

为了有效地实施本发明的系统，在示例性实施例中优选在用于移动挤压头的 x-y 速度和加速度指令上施加一定的导向图，以便避免需要液化器输入流量阶跃变化（这将对液化器泵的设计进行可观的限制）。具体地说，本发明的示例性实施例仅仅使用用于控制挤压头的连续加速度分布图。连续加速度分布图是加速度没有任何阶跃变化的图形。仅仅利用连续加速度分布图消除了用于挤压头的梯形速度分布图，该梯形速度分布图的加速度具有阶跃变化，加速度的阶跃变化在开始，停止或从挤压头的加速度到减速度的平移时需要液化器泵输入流量阶跃变化。在这种系统中，用于挤压头的最大 x-y 速度基于工具路径图的形状确定，并且连续加速度和减速度被确定，以便挤压头的 x-y 速度的变化本质上是逐渐的。

为了用连续的加速度分布图产生平滑的速度分布图需要高次速度分

布图。用于挤压系统运动以使速度平滑的一个相当通用类型的图是 S 分布图。通过沿梯形图弯曲指令加速度以 S 分布图使加速度平滑。下面将参照用于移动挤压头的 S 分布图指令描述本发明示例性实施例。然而，应当理解，本发明还可以采用本领域公知的其它速度平滑技术，诸如正弦曲线或摆线图法，速度平均或指数平滑法。

图 3 是描述作为本发明采用的速度平滑技术的 S 分布图的曲线图。挤压头的指令 x-y 加速度是梯形的，如加速度分布图 40 所示。加速度分布图 40 的加速度变化的部分由加加速度分布图 42 描述，加加速度分布图 42 是加速度分布图 40 的导数（斜率）。加加速度分布图 42 具有一系列的恒定的，有限加加速度项。加速度分布图 40 产生总体是 S 形的挤压头速度分布图 44。速度分布图 44 的逐渐增加和降低允许相对常规的液化器泵产生连续匹配挤压头 x-y 速度的输出流量。在示例性实施例中，加加速度分布图 42 的加加速度项需要具有基于液化器系统的容量的低于预定阈值的绝对值，以确保挤压头速度分布图对于液化器足够平滑，以连续产生匹配挤压头 x-y 速度的输出流量。

图 4 是描述根据本发明的示例性挤压头速度 50，挤压头加速度 52 和液化器输入流量 54 的曲线图。为了便于示出，液化器的输出流量通过假定无因次珠面积 (A) 为 1 正则化，以便具有与挤压头的 x-y 速度相同的速度单位。应当注意在图 4 的曲线图上的每一点，液化器的输入流量等于挤压头的 x-y 速度加时间常数 ( $\tau$ ) 乘挤压头当前的加速度值 ( $A_{xy}$ )。液化器抽吸速度曲线和挤压头的 x-y 速度曲线之间的面积差值表示液化器细丝被压缩以实现期望的液化器压力和输出流量的距离。

在示例性实施例中，本发明的液化器控制方法在三维模制设备上进行，该设备包括熔化流补偿能力，如 James W. Comb 2001 年 9 月 21 日申请的美国专利申请 No. 09/960,133 “挤压设备中的熔化流补偿”中所述。上述美国专利申请 No. 09/960,133 的应用通过参考全部并入这里。熔化流补偿基于如下假定：，细丝进入液化器的流量越高，液化器就更多地包含固体模制材料（与熔化的液化模制材料相反）。如果细丝的输入流量从高流量降低到底流量，液化器中的液体量将增加并且输出流量 ( $Q_o$ ) 将包括熔化流量分量 ( $Q_{MFL}$ )，该值通过细丝的指令如入流量的向下调整被补偿。

熔化流量的关系一般为：

$$Q_{MFL} = \%_{MF} * Q_M \quad (1)$$

其中 $\%_{MF}$ 为熔化期间模制材料的膨胀百分比， $Q_M$ 是固体细丝熔化的速度，以及 $Q_{MFL}$ 是由于熔化引起的液体模制材料的输出流量。熔化流量补偿模仿作为细丝供给到液化器中的流量（ $Q_i$ ）和熔化流量分量（ $Q_{MFL}$ ）的总和的自液化器的输出流量（ $Q_o$ ）。

本发明根据控制微分方程基于输入流量操作以确定（并且控制）自液化器的输出流量，并且能够容易地并入熔化流补偿系统中。如上述美国专利申请 No. 09/960,133 中详细披露，熔化流补偿系统操作以确定基于熔化流参数实现目标流量需要的指令输入流量。本发明的原理能够通过承认目标流量（ $Q_{Target}$ ）由下式确定而用于这些系统：

$$Q_{Target} = A * (V_{xy} + \tau * A_{xy}) \quad (18)$$

将该式代入熔化流补偿系统得出基于熔化流补偿参数的指令输入流量以及挤压头的速度和加速度。

因此本发明提供了挤压设备中的液化器泵控制系统和方法，其中液化器的输出流量作为挤压头的 x-y 速度的函数被控制，挤压头的 x-y 速度基于挤压头跟踪的工具路径。液化器的输出流量通过微分方程与细丝供给到液化器的输入流量有关，从而通过控制细丝的输入流量能够控制液化器的输出流量。输出流量可以通过以高流量供给液化器细丝迅速增加，以高流量供给液化器细丝增加了液化器中的压力并且从而增加了从液化器流出的熔化的模制材料的流量。输出流量可以通过实际上从液化器拉出细丝迅速降低，拉出细丝降低了液化器中的压力并且从而降低了从液化器流出的熔化模制材料的流量。

由于本发明，挤压头的 x-y 速度可以仅仅基于挤压头跟踪的工具路径的各个部分的形状作为时间的函数被优化。换句话说，挤压头允许不考虑挤压头流量响应沿工具路径的折线加速和减速。本发明在时间的任何点都控制液化器的输出流量，并且与挤压头的 x-y 速度成比例，以便产生一致的模制材料的珠尺寸。

本领域的普通技术人员应当理解，上述讨论说明了基于说明挤压头中物理过程的工具路径和集总参数确定挤压头速度分布图。在这些参数自身

被发现取决于其它诸如挤压头的最近流量历程的其它参数的程度上，可以使用查找表或拟合函数以提供适合于瞬间挤压条件的集总参数。

尽管参照优选实施例描述了本发明，当时本领域的普通技术人员将认识到在不偏离本发明的精神和范围的情况下可以进行形式和细节上的变化。例如，本发明集中在三维模制应用，但是应当理解本发明的液化器泵控制方法可以用于需要控制输出流量的其它类型的挤压系统中。本发明能够应用的其它领域包括粘合剂分配涂敷（例如，汽车，菱形花格，盒子和衣物的组装）以及焊料糊挤压（用于例如电路板的制作）。

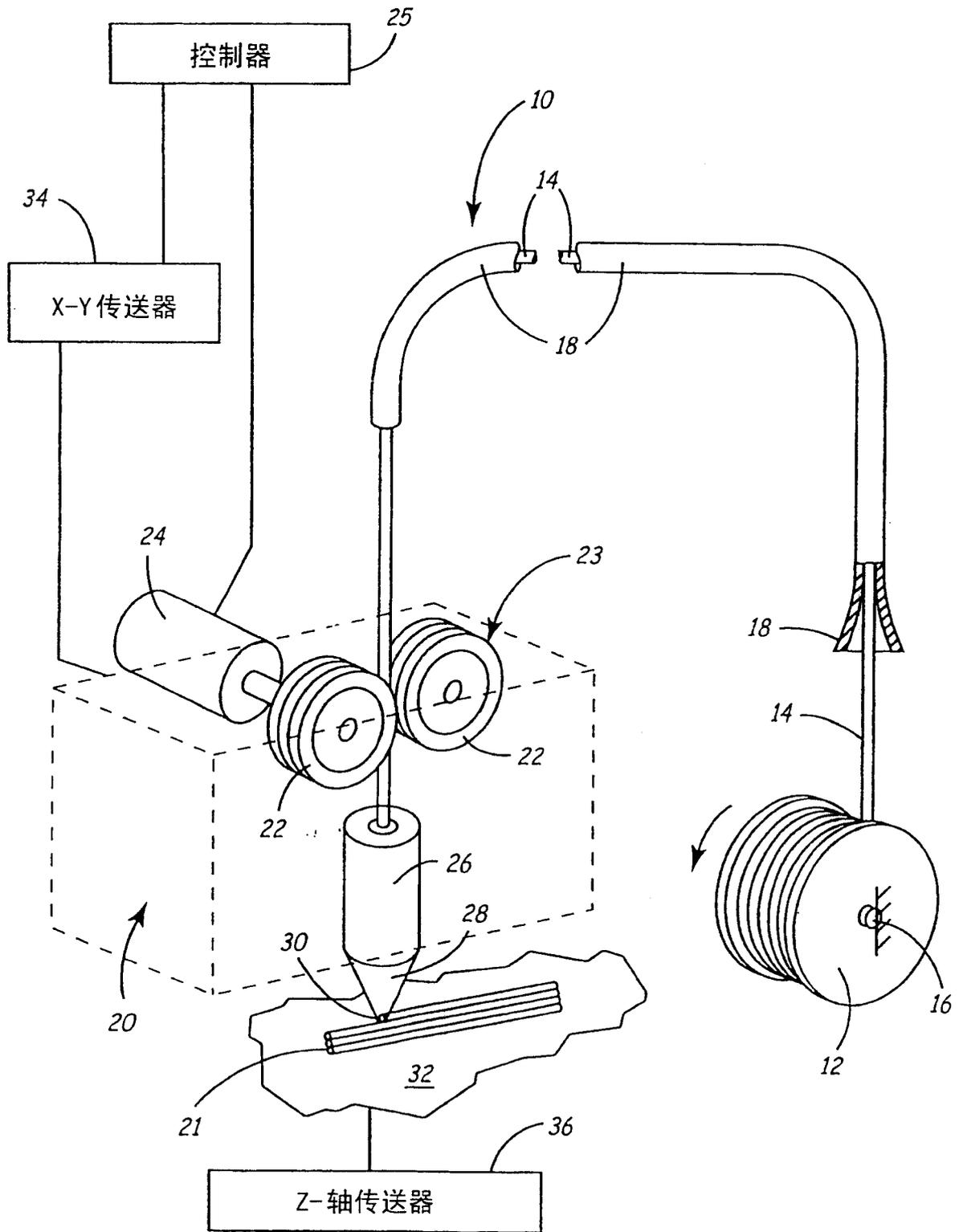


图 1

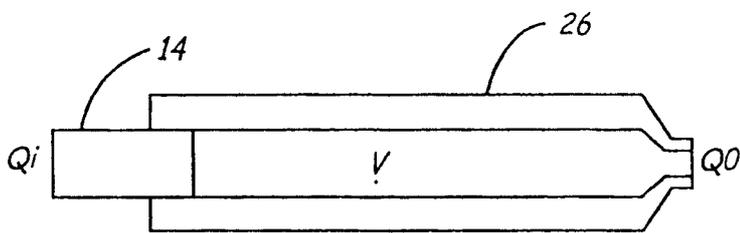


图 2A

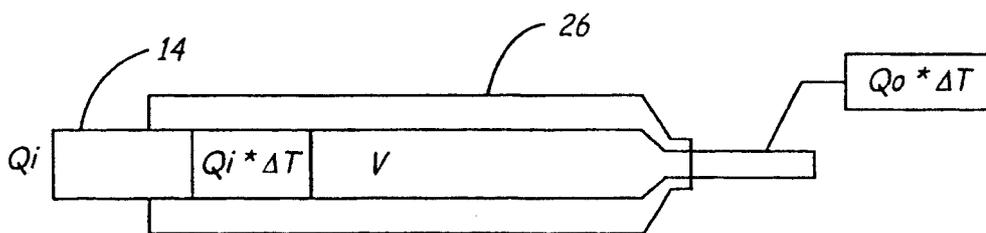


图 2B

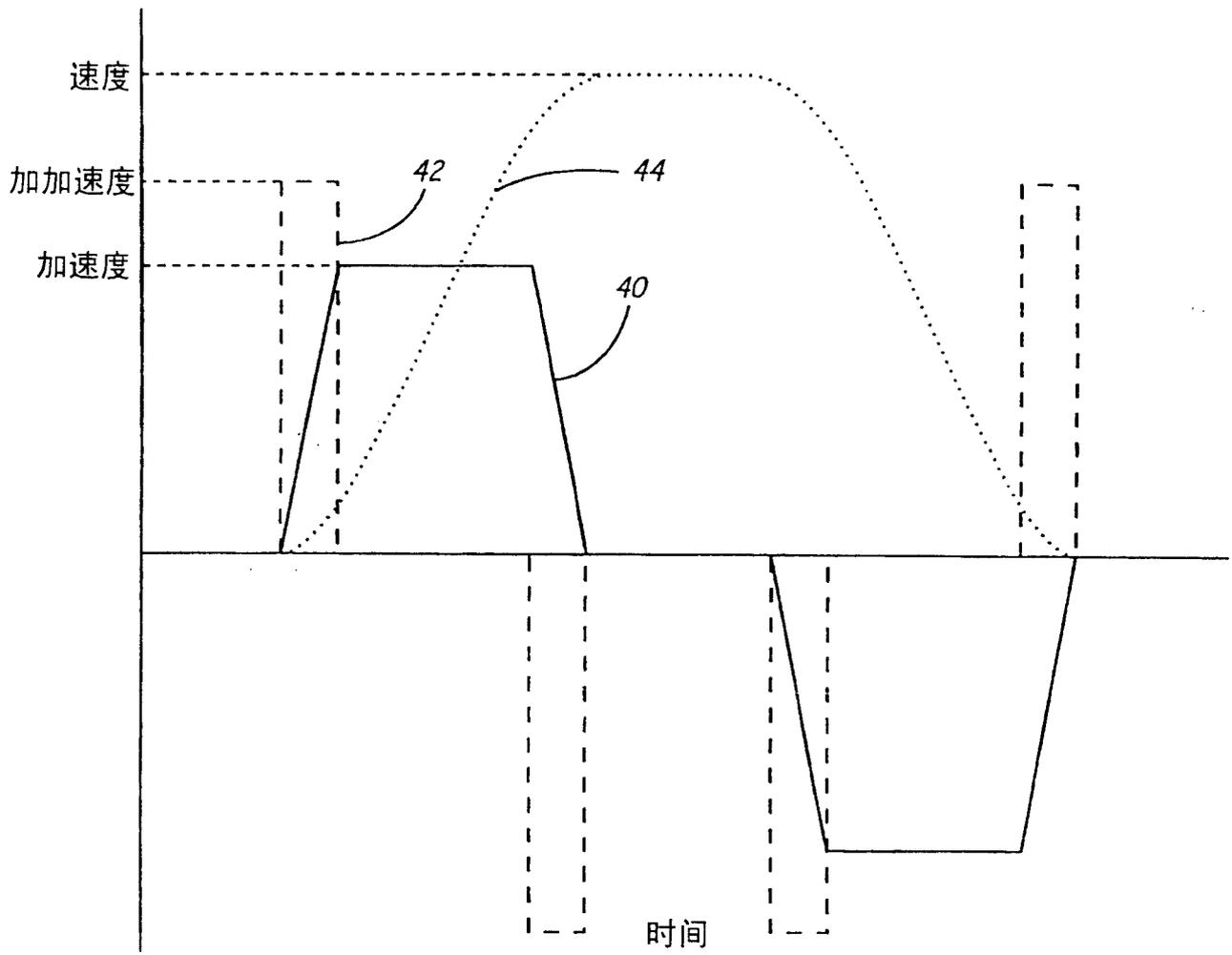


图 3

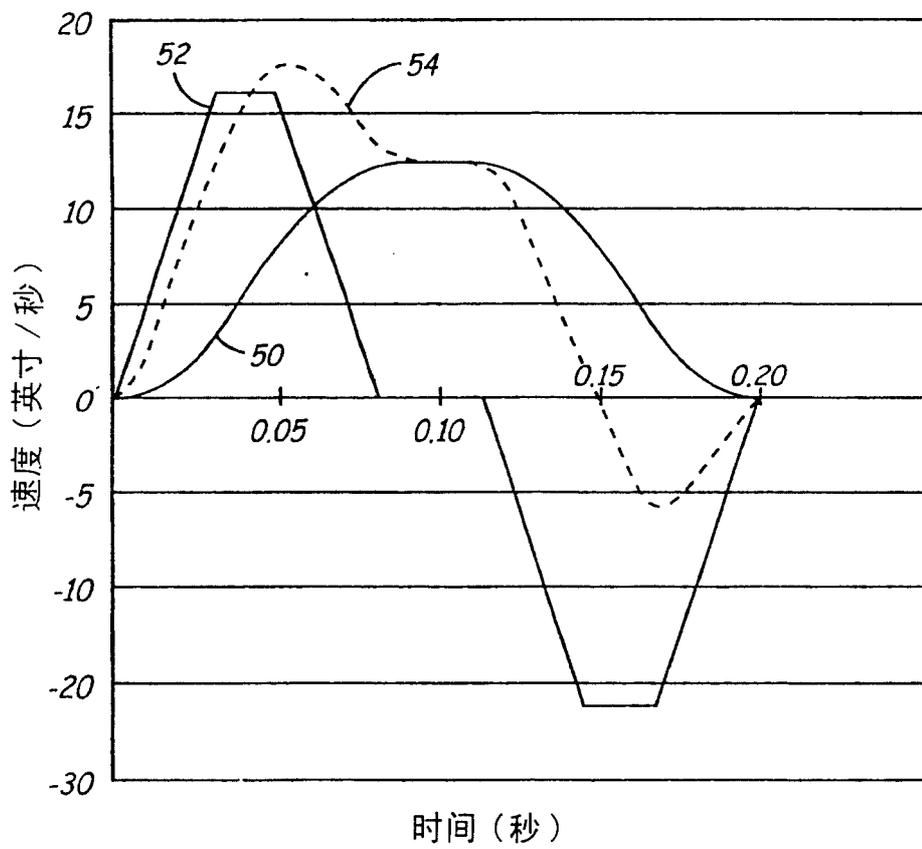


图 4