

气压传动动力学合成方法的研究

A. П. 克里沃里斯

李儒荀

A. И. 伏尔契卡

(苏联)

(无锡轻工业学院机械系)

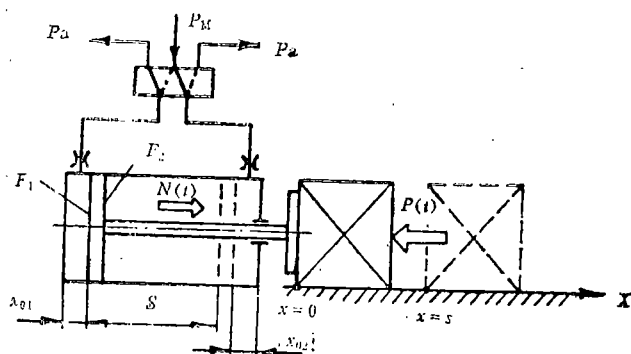
(苏联)

摘要 本文讨论了为实现活塞给定的运动规律, 在气压传动中进行动力学合成的方法。

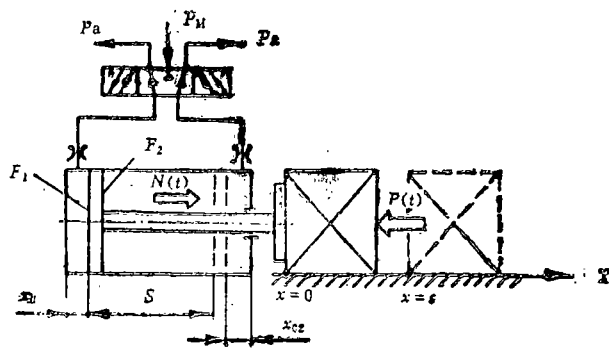
主题词 气压传动; 活塞给定的运动规律; 动力学合成

本文将以如何实现活塞给定的运动规律为例, 阐述气压传动中动力学合成的研究方法。

气压传动由于结构紧凑, 制造简单, 工作可靠, 故在机械制造业、轻工业和食品工业的各个部门获得了广泛的应用。但由于对它的研究还不够充分, 所以在很多地方, 使它的应用受到了限制。



(1)



(2)

图1 双向气压传动

本文1990年2月20日收到

众所周知, 双向气压传动分为两类: 一类是气缸的工作腔与排气腔(这两部分是交替的)有初始气压差的, 另一类是没有初始气压差的。在第一类气压传动中(图1(1)), 气缸排气腔的压力 P_2 在最初瞬间等于管道压力 P_M , 在第二类气压传动中它等于大气压力 P_a 。第一类气压传动, 由于控制简单, 活塞行程平稳, 故在生产中得到了广泛的应用。但是在高生产率的设备中, 在活塞行程的末端发现很大的冲击负荷, 这会导致被运送物体定位的不精确, 或者引起物体的变形。

下面所进行的研究, 其目的就是根据能实现单件货物给定运动规律的计算关系式, 进行带反馈的气压传动的动力学合成。在推导计算关系式时假设压缩空气与周围介质的热交换可以忽略不计, 在气压传动装置中空气的泄漏不显著。

双向气压传动中, 活塞的运动方程具有下列形式:

$$m \ddot{x} = P_1 F_1 - P_2 F_2 - P(t) \quad (1)$$

式中

m ——折算到活塞上的机构运动环节和运输件的质量

x ——活塞移动坐标

P_1, P_2 ——在工作腔和排气腔内的空气压力

$P(t)$ ——折算到活塞上的所有阻抗运动的力的合力

压力 P_1 和 P_2 是时间的函数, 其变化方程为:

$$\dot{P}_1 = \frac{k}{x_{01} + x} \left(\frac{f_1 K_0 P_M \sqrt{R T_M}}{F_1} \varphi(\sigma_1) - P_1 \dot{x} \right) \quad (2)$$

$$\dot{P}_2 = \frac{k}{s + x_{02} - x} \left(-\frac{f_2 K_0 P_2^{(3k-1)/2k} \sqrt{R T_M}}{F_2 P_M^{(k-1)/2k}} \varphi\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2}\right) + P_2 \dot{x} \right) \quad (3)$$

$$\dot{P}_2 = \frac{k}{s + x_{02} - x} \left(-\frac{f_2 K_0 P_2^{(3k-1)/2k} \sqrt{R T_M}}{F_2 P_a^{(k-1)/2k}} \phi\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2}\right) + P_2 \dot{x} \right) \quad (4)$$

式中

k ——绝热系数

f_1, f_2 ——进气孔和排气孔的有效面积

$$K_0 = \sqrt{2gk/(k-1)}$$

g ——重力加速度

P_M 和 P_a ——管道压力和大气压力

R ——通用气体常数(比熵)

T_M ——管道中空气的温度

s ——活塞行程

x_{01}, x_{02} ——活塞最初和最终位置坐标

$\varphi(\sigma_1), \varphi\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2}\right)$ ——工作腔和排气腔内的流量函数

$$\sigma_a = P_a / P_M$$

$$\sigma_1 = P_1 / P_M, \quad \sigma_2 = P_2 / P_M$$

方程(3)表示有初始气压差气缸排气腔内活塞上压力变化的特征; 方程(4)表示没有初始气压差的气缸排气腔内活塞上压力变化的特征。

实现给定运动规律的气压传动的动力学合成可按下列程序进行: 首先研究推料机构的工作情况, 得到描绘物体运动参数的分析表达式 $x(t)$, $\dot{x}(t)$ 和 $\ddot{x}(t)$, 它们相应于物体给定的运动规律; 根据节流方式(即什么孔节流)把所得到的分析表达式带入(2)(3)(4)对应的公式中, 并在电子计算机上求解, 可求出每一瞬间的 P 和 $\dot{P}$ 值。在进口节流时利用公式(2), 在出口节流时对于带初始气压差的气压传动, 利用公式(3), 对于没有初始气压差的气压传动, 利用公式(4)。

为了实现活塞给定的运动规律, 对应每一瞬时都必须满足等式:

$$P_2 = (P_1 F_1 - m \ddot{x} - P(t)/F_2 \quad (5)$$

$$\text{或者} \quad P_1 = (P_2 F_2 + m \ddot{x} + P(t)/F_1 \quad (6)$$

微分方程(5)和(6)得:

$$\dot{P}_2 = (\dot{P}_1 F_1 - m \ddot{\dot{x}} - \dot{P}(t)/F_2 \quad (7)$$

$$\dot{P}_1 = (\dot{P}_2 F_2 + m \ddot{\dot{x}} + \dot{P}(t)/F_1 \quad (8)$$

在出口节流时, 把解方程(2)得到的 P_1 和 $\dot{P}_1$ 值代入方程(5)、(7)中可求出每一瞬时 t 的 P_2 和 $\dot{P}_2$ 值; 同样把所得到的 P_2 和 $\dot{P}_2$ 代入方程(3)和(4)就可决定出对应每一瞬时 t 的 f_2 值。

对于活塞上有初始气压差的气压传动:

$$f_2 = \frac{[P_2 \dot{x} - P_2(s + x_{02} - x)/k] F_2 P_M^{(t-1)/2k}}{K P_2^{(3k-1)/2k} \sqrt{RT_M} \varphi(\sigma_s/\sigma_2)} \quad (9)$$

对于活塞上没有初始气压差的气压传动:

$$f_2 = \frac{[P_1 \dot{x} - P_2(s + x_{02} - x)/k] F P_a^{(k-1)/2k}}{K_0 P_2^{(3k-1)/2k} \sqrt{RT_M} \varphi(\sigma_a/\sigma_2)} \quad (10)$$

在入口节流的情况下, 把解方程(4)(对于活塞上没有初始气压差的气压传动)或解方程(3)(对于活塞上有初始气压差的气压传动)得到的 P_2 和 $\dot{P}_2$ 值, 代入方程(6)、(8)可求出对应每一瞬间的 P_1 和 $\dot{P}_1$ 值。同样把所得到的 P_1 和 $\dot{P}_1$ 值代入方程(2), 就可求出每一瞬间 t 的参数 f_1 :

$$f_1 = \frac{[P_1 \dot{x} + \dot{P}_1(x_{01} + x)/k] F_1}{K_0 P_M \sqrt{RT_M} \varphi(\sigma_1)} \quad (11)$$

也可能存在两孔(进、出孔)同时节流的情况, 如果满足下列条件, 上述方法同样适用, 即: 气压传动两腔内的压力保持不变, 活塞的运动加速度为常数(或等于0), 折算到活塞上所有运动阻力的合力保持不变。也就是说: $P_1 = \text{const}$, $P_2 = \text{const}$, $\ddot{x} = \text{const}$ 和 $P(t) = \text{const}$

这时流通截面的有效面积可按下式计算:

对于活塞上有初始气压差的气压传动:

$$f_2 = \frac{P_2 \dot{x} F_2 P_M^{(k-1)/2k}}{K_0 P_2^{(3k-1)/2k} \sqrt{R T_M} \varphi(\sigma_a/\sigma_2)} \quad (12)$$

对于活塞上没有初始压力差的气压传动:

$$f_2 = \frac{P_2 \dot{x} F_2 P_a^{(k-1)/2k}}{K_0 P_2^{(3k-1)/2k} \sqrt{R T_M} \varphi(\sigma_a/\sigma_2)} \quad (13)$$

对于上述两种情况, f_1 都可按下式计算:

$$f_1 = \frac{P_1 \dot{x} F_1}{K_0 P_M \sqrt{R T_M} \varphi(\sigma_1)} \quad (14)$$

对于两孔节流的方法, 计算活塞的移动过程不利用电子计算机也很方便。但是要在结构上实现却比单纯的入口节流或出口节流要复杂得多。

正如所进行的研究表明的那样, 活塞上具有初始压力差而出口节流的气压传动可以精确地实现活塞给定的运动规律。下面我们就单件重物在最佳快速移动规范下沿固定平面移动作并实现给定运动规律的情况进行气压传动的动力学合成。

重物沿固定平面的最佳快速移动过程由两阶段组成: 重物在恒定动力 $N(t) = \theta = \text{const}$, 用下的加速阶段和在动力中断后的制动阶段。在加速阶段, 重物的运动可用下列方程来描述:

$$x_p = [(\theta/m_p) - g\mu]t^2/2 \quad (15)$$

$$\dot{x}_p = [(\theta/m_p) - g\mu] \cdot t \quad (16)$$

$$\ddot{x}_p = (\theta/m_p) - g\mu \quad (17)$$

在制动阶段, 重物的运动用下列方程描述:

$$x_T = -g\mu(T-t)^2/2 + S \quad (18)$$

$$\dot{x}_T = g\mu(T-t) \quad (19)$$

式中

$$\ddot{x}_T = -g\mu \quad (20)$$

m_p ——重物的质量; μ ——重物与平面之间的滑动摩擦系数; 动力断开的时刻 τ 和重物从开始位置 $x=0$ 移到最终位置 $x=S$ 的时间 T 可分别按下式计算:

$$\tau = \sqrt{\frac{2Sm_p}{\theta(\theta/m_p g\mu - 1)}} \quad (21)$$

$$T = \sqrt{\frac{2S}{g\mu(1 - m_p g\mu/\theta)}} \quad (22)$$

动力断开点处:

$$x_s = m_p g\mu S/\theta \quad (23)$$

我们在下列参数下进行计算: $\theta = 60.8\text{N}$, $m_p = 19.6\text{kg}$, $\mu = 0.3$, $g = 9.81\text{m/s}^2$, $S =$

0.25m , $F_1 = 31.10\text{m}^2$, $F_2 = 28.10^{-4}\text{m}^2$, $x_{01} = x_{02} = 0.05\text{m}$, $P_a = 9.81 \cdot 10^{-4}\text{N/m}^2$, $R = 287\text{N} \cdot \text{m}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $T_M = 293\text{K}$, $P_M = 39.24 \cdot 10^{-4}/\text{m}^2$, $k = 1.4$, $K_0 = 8.283\text{m}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}$, $f_1 = 1.3 \cdot 10^{-6}\text{m}^2$, $m_a = 3\text{kg}$ (气缸运动部分的质量), $P_c = 49\text{N}$ (气缸运动部分摩擦力)。

利用方程(21)~(23)我们计算出了重物移动 S 距离的时间 $T = 1.8315582\text{s}$, 动力断开的时间 $\tau = 1.7387997\text{s}$ 和动力断开点处 $x = 0.237339\text{m}$ 。

在快动(加速)阶段阻力的合力为:

$$\begin{aligned} P_p(t) &= P_c + (m_p + m_a)\ddot{x}_p + m_p g \mu + P_a(F_1 - F_2) = \\ &= 49 + (19.6 + 3) \times 0.157 + 19.6 \times 9.81 \times 0.3 + 9.81 \cdot 10^4 (31 \cdot 10^{-4} - 28 \cdot 10^{-4}) \\ &= 139.65\text{N} \end{aligned} \quad (24)$$

在制动阶段阻力的合力为:

$$\begin{aligned} P_T(t) &= P_c + P_a(F_1 - F_2) = 49 + 9.81 \cdot 10^4 (31 \cdot 10^{-4} - 28 \cdot 10^{-4}) = \\ &= 78.43\text{N} \end{aligned} \quad (25)$$

为了决定气压传动推杆的运动参数, 可利用方程(2), 只是对于加速阶段, 用关系式(15)(16)对于制动阶段用关系式(18)(19)代替参数 x 和 $\dot{x}$ 。

我们感兴趣的是利用方程(2), 得到每一瞬间的 P_1 和 $\dot{P}_1$ 值, 在解方程(2)时, 其边界条件如下:

对于加速阶段:

$$\begin{cases} P_1 = P_M, & t = 0, & x = 0 & \dot{x} = 0 \\ P_1 = P_{1p}, & t = \tau & x = x_\tau & \dot{x} = \dot{x}_p(\tau) \end{cases} \quad (26)$$

对于制动阶段:

$$\begin{cases} P_1 = P_{1p} & t = \tau & x = x_\tau & \dot{x} = \dot{x}_p(\tau) \\ P_1 = P_{1T} & t = T & x = S & \dot{x} = 0 \end{cases} \quad (27)$$

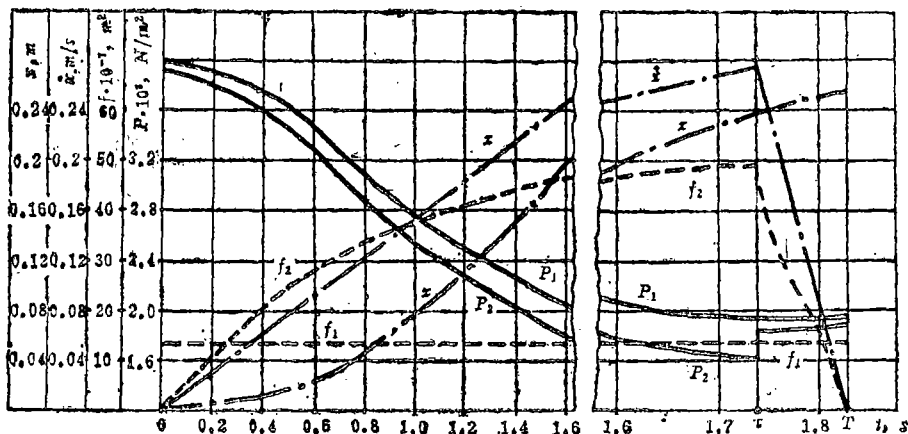


图2 单件重物沿固定平面移动过程的计算结果

把每一瞬间的 P_1 和 $\dot{P}_1$ 值以及相应运动阶段的阻力 $P(t)$ 代入关系式(5)和(7)计算出对应每一瞬间的 P_2 、 $\dot{P}_2$ 代入方程(9)可得出对应每一瞬间的孔的有效面积 f_2 。

在快速作用最佳规范下, 单件重物沿固定平面移动过程的计算结果如图2所示。从图2中可以看出: $P_2(t)$ 和 $f_2(t)$ 的曲线有第二类断点, 这是由于重物的运动方程 $x(t)$ 和 $\dot{x}(t)$ 不是在所有的时间范围内都是可积分而引起的。它们也存在断点, 函数 $\ddot{x}(t)$ 有第二类断点, $\dot{x}(t)$ 有第一类断点。因此在实践中要精确的实现给定的运动规律是不可能的, 只能近似地实现给定的运动规律。正如我们试验研究的数值所表明的那样, 理论与试验之间的误差有如下数值: 运动时间 T 的误差9.5%, 空气压力 P_1 和 P_2 的误差13%。

如果推杆的运动参数 $x(t)$, $\dot{x}(t)$, $\ddot{x}(t)$ 在路程全长上都是可微分的, 并没有断点, 则可精确的实现给定的运动规律。

利用上述气压传动动力学合成的方法, 可以计算出实践中各种不同工艺工序里, 实现活塞给定出的任何必须运动规律的气压传动的参数。

参 考 文 献

- 1 Герц Е В, Крейнин Т В. Расчёт пневмприводов. (Справочное пособие) 1975
- 2 Кривоняс А П, Кукиный А А, Беспалко А П И ДР. Пакетоформирующие Машины 1982

Studies on Dynamics Combined Method of Pneumatic Transmission

A.P. Krivoplas
(U.S.S.R)

Li Ruxun
(Wuxi Inst. of Light Ind.)

A.J. Volchko
(U.S.S.R)

Abstract This paper discusses a Dynamics Combined method in Pneumatic transmission for a piston on defined moving pattern.

Subjectwords Pneumatic transmission; Piston moving pattern; Combined dynamics