

021056

气动机构及回路设计

QIDONG JIGOU JI HUILU SHEJI

〔日〕中岛弘行 著

机械工业出版社



气动机构及回路设计

〔日〕中岛弘行 著

王琦祥 译

机械工业出版社

TH 4
1

云
村
本
乃
也
里
i
i

本书根据气动驱动的特点，着重讨论了各种气动机构的设计。

全书共分两大部分。第一篇气动系统的设计，简单讨论了空气的基本特性，气动缸活塞的移动时间，气动基本回路及基本回路的组合。第二篇气动应用机构，详细讨论了气动机械的一些常用机构，如用气动缸驱动的滑动和滚动机构，滑轮机构，连杆机构，回转运动机构以及气动离合器和制动器等，以及各类机构的优缺点及设计和使用中的注意事项。最后一章简单地讨论了气动系统的设计和分析方法。

本书可供从事气动机械设计、研究工作的工程技术人员参考。

空 气 压 应 用 机 构 与 回 路 设 计

中 岛 弘 行 著

日 刊 工 业 新 闻 社 1970

* * *

气 动 机 构 及 回 路 设 计

〔日〕中 岛 弘 行 著

王 琦 祥 译

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/32 · 印张 6 1/2 · 字数 147 千字
1979 年 1 月北京第一版 · 1979 年 1 月北京第一次印刷

印数 00,001—32,000 · 定价 0.68 元

*

统一书号: 15033 · 4552

出版说明

随着气动技术在我国各工业部门的广泛应用，从事这方面工作的同志希望能出版一些气动技术方面的书籍。

我们遵照毛主席关于“洋为中用”的教导，将日本日刊工业新闻社1970年出版的《空气圧応用機構と回路設計》一书翻译出版，供有关读者参考。

为便于读者阅读本书，我们在尽量保留原著技术内容的前提下，对部分章节和内容作了适当调整和删改。

由于译者水平有限，书中可能存在不少错误，恳请读者批评指正。

1977年11月

目 录

第一篇 气动回路的设计

第一章 空气的基本性质	1
第一节 空气的物理性质	1
一、大气	1
二、空气的密度	1
三、绝对湿度和相对湿度	2
四、空气的粘性	3
五、空气中的音速	3
第二节 空气及其它气体的状态变化	4
一、空气的状态方程式	4
二、等容变化	4
三、等压变化	5
四、等温变化	5
五、绝热变化	6
六、多变变化	6
第三节 空气充放时间	7
一、向容器充入空气	7
二、从容器放出空气	8
第二章 气动缸活塞的移动时间	10
第一节 双作用气动缸活塞移动速度的简易计算	11
第二节 管道长度和折合有效截面积	14
第三节 有效截面积的连接	17
第三章 气动基本回路	21
第一节 双作用气动缸的操纵回路	21

IV

第二节	单作用气动缸的操纵回路	23
第三节	断续供气回路	25
第四节	差动气动缸的操纵回路	25
第五节	流量控制回路	27
第六节	逻辑回路	29
第四章	基本回路的组合	31
第一节	气动系统的设计程序	31
第二节	气滤	33
第三节	减压阀	35
第四节	油雾器	36
第五节	方向控制阀	38
第六节	速度调整阀	39

第二篇 气动应用机构

第五章	概述	41
第一节	设计中需要注意的几个问题	41
第二节	气动缸的微速界限和机构设计的重要性	42
第六章	滑动机构	44
第一节	气动缸和滑动导轨的组合	44
一、	滑动导轨及其优缺点	44
二、	采用滑动导轨应注意的问题	44
第二节	滑动导轨的设计	51
第七章	滚动机构	58
第一节	滚动机构的特点	58
第二节	小车和气动缸连接所产生的问题	60
一、	冲击与缓冲	60
二、	活塞杆的损坏	62
三、	活塞杆下垂	63
第三节	一个用滚动机构代替滑动机构的例子	67

第八章 采用连杆的机构	70
第一节 近似直线运动的连杆机构	70
一、驱动力	70
二、气缸驱动时间的计算	72
三、这种机构的优缺点	76
四、载荷水平移动的吊臂机构	76
五、平行运动的吊臂机构	77
六、吊臂机构的使用实例	78
第二节 采用连杆的摆动运动机构	80
第三节 采用连杆的多级行程机构	85
第四节 采用连杆的断续输送装置	88
第五节 设计连杆阻挡机构的注意点	91
第六节 连杆增力机构	94
第九章 升降台	107
第一节 升降台的滑动导向	107
第二节 升降台所用气缸的速度控制	111
第十章 用气缸驱动的绳索机构	125
第一节 应用定滑轮的绳索机构	125
第二节 应用定滑轮和动滑轮的简单绳索机构	126
第三节 应用定滑轮和动滑轮的三倍增力机构	127
第四节 其它增力机构	128
第五节 行程增大机构	132
第六节 使用绳索的同步运转机构	134
第十一章 使用齿轮齿条的直线运动机构	143
第十二章 使用回转式执行机构的回转运动机构	149
第一节 气动马达	149
一、摆动式气动马达	149
二、回转式气动马达	151
第二节 使用回转式执行机构的回转运动机构	153

VI

一、效率	156
二、重量	158
三、惯性	159
第十三章 使用摆动或回转马达的直线运动机构	161
第十四章 使用直线式气动缸的回转运动机构	164
第十五章 气动离合器和制动器	167
第一节 气动离合器和制动器的结构	168
第二节 气动离合器和制动器的应用	180
一、气动制动器、离合器和电磁制动器、离合器的比较	180
二、在锻压机械中的应用	182
三、使用气动离合器的正反转机构	186
四、气动离合器在变速控制中的应用	188
五、变速控制在位置控制中的应用	189
六、采用气动制动器的张力控制	189
第十六章 气动系统的设计	191
第一节 二阶微分方程的应用	192
第二节 气动的高速反应性	193
第三节 气动伺服系统的分析	195
第四节 气动的三个基础	201

第一篇 气动回路的设计

第一章 空气的基本性质

第一节 空气的物理性质

一、大气

表 1-1 所示为在标准状态下 (760 毫米汞柱, 0°C , $g = 980.665 \text{ 厘米/秒}^2$) 干空气的标准成分。

表 1-1 干空气的标准成分

	氮 (N_2)	氧 (O_2)	氩 (A)	二氧化碳 (CO_2)
体 积 (%)	78.09	20.95	0.93	0.03
重 量 (%)	75.53	23.14	1.23	0.05

在海拔 $Z < 11$ 千米的范围内空气的温度、压力和密度随高度的变化分别为:

$$t = t_0 - 6.5Z [^{\circ}\text{C}] \quad (1-1)$$

$$H = 760(1 - 0.02257Z)^{5.256} [\text{毫米汞柱}] \quad (1-2)$$

$$\rho = \rho_0(1 - 0.02257Z)^{4.256} [\text{公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4] \quad (1-3)$$

式中 ρ_0 为在 15°C , 760 毫米汞柱下的密度, 其值为 $0.1250 \text{ 公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4$ 。

二、空气的密度

若在标准状态下干空气的重度为 1.2931 公斤/米^3 , 则当温

度为 $t^{\circ}\text{C}$ ，压力为 H 毫米汞柱时干空气的重度

$$\gamma = 1.2931 \times \frac{273}{273 + t} \times \frac{H}{760} \quad [\text{公斤}/\text{米}^3] \quad (1-4)$$

其密度

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad [\text{公斤秒}^2/\text{米}^4] \quad (1-5)$$

(式中 $g = 9.80665 \text{米}/\text{秒}^2$)

湿空气的重度

$$\begin{aligned} \gamma &= 1.2931 \times \frac{273}{273 + t} \\ &\times \frac{H - 0.378\phi F}{760} \quad [\text{公斤}/\text{米}^3] \quad (1-6) \end{aligned}$$

式中 ϕ —— 相对湿度；

F —— 在 $t^{\circ}\text{C}$ 下水蒸气的饱和蒸气压力〔毫米汞柱〕。

三、绝对温度和相对湿度

如在重量为1公斤的干空气中含有 X 公斤的水蒸气，则 X 叫作绝对湿度。

设在温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 时，1米³空气中含有水蒸气的重量为 x_w 公斤/米³，而在同温度下的饱和水蒸气重量为 x_s 公斤/米³，则其比值

$$\phi = \frac{x_w}{x_s} \approx \frac{P_w}{P_s} \quad (1-7)$$

叫作相对湿度。

若 $\phi = 1$ 时的绝对湿度为 x ，则

$$\phi = \frac{X}{x} \quad (1-7)'$$

叫作饱和度。

若湿空气中单位体积的空气重量为 γ_0 公斤/厘米³，则

$$X = \frac{\gamma_w}{\gamma_0} = \phi x_s = \frac{0.622\phi P_s}{P - \phi P_s} \quad (1-8)$$

$$P_w = \frac{XP}{0.622 + X} \quad (1-9)$$

式中 P ——湿空气的全压〔公斤/厘米²〕；
 P_w ——湿空气中水蒸气的分压〔公斤/厘米²〕；
 P_a ——干空气的分压；
 P_s ——相当于温度为 $t^\circ\text{C}$ 时空气的饱和蒸气压〔公斤/厘米²〕。

若用绝对压力表示，则

$$P \approx P_a + \phi P_s$$

在 1 米³空气中存在的饱和水蒸气重量 γ_s 公斤/米³ 只随温度变化，而空气压力的变化对它几乎没有什么影响。

由此，就很容易理解防止在压缩空气中出现水滴的方法，即在标准气动回路里的气滤下流设置减压阀，使空气膨胀，以降低其相对湿度。

四、空气的粘性

温度为 $t^\circ\text{C}$ 的空气的粘性系数

$$\mu = 1.758 \times 10^{-6} \times \frac{380}{380 + t} \times \left(\frac{273 + t}{273} \right)^{3/2} \quad \text{〔公斤·秒/米}^2\text{〕} \quad (1-10)$$

若密度为 ρ ，则动粘性系数

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{〔米}^2\text{/秒〕} \quad (1-11)$$

五、空气中的音速

气动元件中的气流有时是以音速流动的，所以往往把音速作为各种计算的基准。空气中的音速可认为与气压、湿度无关，只随温度而变化。若空气的温度为 $t^\circ\text{C}$ ，则音速

$$a = 331.68 \sqrt{\frac{273 + t}{273}} \text{ [米/秒]} \quad (1-12)$$

第二节 空气及其它气体的状态变化

一、空气的状态方程式

理想气体（在我们讨论的范围内可认为空气是理想气体）状态变化时下面的关系始终成立

$$Pv = RT \quad (1-13)$$

$$PV = GRT \quad (1-14)$$

- 式中 P ——绝对压力[公斤/米²];
 v ——空气的比容[米³/公斤];
 R ——气体常数[公斤·米/公斤°K];
 V ——空气的体积[米³];
 G ——空气的重量[公斤];
 T ——空气的绝对温度。

因为空气的 R 值在任何状态下都是 29.27 公斤·米/公斤°K, 所以给定 P 及 T 后便可求出 v 。

二、等容变化

在温度变化时, 密闭容器中的空气压力与其绝对温度成比例地变化。这是因为在这种情况下式 (1-14) 中的 V 及 G 不变, 所以

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (1-15)$$

因为容积没有变化, 故作功量 $L = 0$, 而传递给它的热量 H [千卡]为,

$$H = GC_v(T_2 - T_1) \quad (1-16)$$

式中 P_1 ——初始压力,

P_2 ——变化终点的压力；

T_1 ——初始的绝对温度；

T_2 ——终点的绝对温度；

C_v ——空气的定容比热〔0.17千卡/公斤 $^{\circ}$ K〕。

当式(1-16)中的 H 为正号时，表示加给空气 H 千卡的热量，作为空气的内能被保存起来；负号时，表示空气放出保存的能量而使温度下降。

三、等压变化

如图 1-1 所示的气动缸，假定没有摩擦，在温度为 T_1 时其容积为 V_1 ，当温度变化到 T_2 时，其容积也变化到 V_2 ，则下面的关系式成立：

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad (1-17)$$

这个过程中空气所作的功 L 及传递给它（或放出）的热量 H 分别为：

$$L = P(V_2 - V_1) \text{ [公斤} \cdot \text{米]} \quad (1-18)$$

$$H = GC_p(T_2 - T_1) \text{ [千卡]} \quad (1-19)$$

式中的 C_p 值随压力和温度而变化，但在以 5 公斤/厘米 2 为标准压力的气动回路中 C_p 值约为 0.283 千卡/公斤 $^{\circ}$ K。

四、等温变化

如图 1-2 所示的气动缸与活塞之间没有摩擦，为使温度不变，可让活塞以极慢的速度移动，使气动缸内产生的

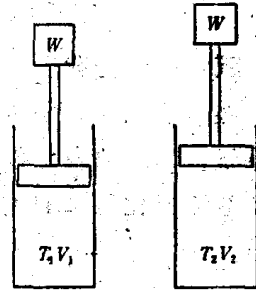


图1-1 压力固定（温度变化时体积也随着变化）



图1-2 缓慢移动活塞，使外力做功所产生的热能充分向外放出，以实现等温变化

热量全部向外放出（实际上很难做到）。这种在温度不变状况下的变化过程叫作等温变化。等温变化时下面的关系式成立：

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = GRT \quad (1-20)$$

$$L = P_1 V_1 \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = GRT \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = GRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \quad (1-21)$$

$$H = AL = \frac{1}{427} \cdot L \text{ (千卡)} \quad (1-22)$$

✓ 五、绝热变化

假定在图 1-2 所示气动缸中，空气在体积变化时完全不从外部得到或从内部放出热量，则这种变化过程叫作绝热变化。绝热变化时下面的关系式成立：

$$P_1 V_1^n = P_2 V_2^n \quad (1-23)$$

$$\begin{aligned} L &= \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - n} = \frac{GR(T_2 - T_1)}{1 - n} \\ &= \frac{P_1 V_1}{n - 1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \right] \end{aligned} \quad (1-24)$$

以及

$$H = 0$$

温度、压力和体积之间的关系为：

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1} \quad (1-25)$$

式中 $n = C_p/C_v = 1.41$

六、多变变化

实际空气在压缩或膨胀过程中，总是伴随着一些热量的传递，属于等温变化和绝热变化之间的变化。通常用下式表示：

$$PV^\gamma = \text{常数} \quad (1-26)$$

式中 γ 是根据放热状况的不同在 1 和 n 之间变化。当压力从

$$T_0 = \frac{1}{P_H} T_n \quad (1-28)$$

$$T_1 = 0.528 T_n \quad (1-29)$$

$$T_2 = 0.757 T_n \quad (1-29)'$$

T_n 叫作气动回路的时间常数。

$$T_n = 5.21 \frac{V}{S} 10^{-3} \text{ [秒]} \quad (1-30)$$

式中 V ——容器的容积[厘米³];

S ——小孔的有效截面积[毫米²].

所以, 空气通过具有截面积为 S 的小孔流入容积为 V 的容器所需时间 t 用下式表

$$t = \left(1.285 - \frac{1}{P_H} \right) \times 5.21 \frac{V}{S} 10^{-3} \text{ [秒]} \quad (1-31)$$

式中 P_H ——供给空气的绝对压力[公斤/厘米²绝对压].

图 1-4 是表示容器内原有压力等于零 (即绝对真空) 的情况。当容器内的压力为大气压 (即 1.033 公斤/米²) 开始充气, 则曲线从图中 O' 点开始。若压力 P_H 较低, 则充气是在临界条件以后 O'' 点开始的。因为曲线 ABC 为正弦曲线, 所以充气所需时间很容易求出。

二、从容器放出空气

如图 1-5 所示, 从容积为 V 的容器中放出压力为 P 的空气, 当容器中的压力在临界压力 (即 $P = 1.893 \times 1.033 = 1.96$ 公斤/厘米² 绝对压 (0.922 公斤/厘米² 表压)) 以上时, 流经小孔 C 的空气流速为音速。随着空气的流出, 因容器内压力降低而使流出的空气量逐渐减

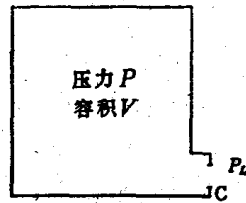


图1-5 空气从容器放出

少，其压力-时间曲线如图 1-6。从图中可以看出，即便在临界条件以前也是按指数曲线变化的。如果将空气放出到绝对真空中，那末，到达最后的时间变化应是：

$$t = \frac{2n}{n-1} \left[\left(\frac{P}{P_L} \right)^{\frac{n-1}{2n}} - 1 \right] T_n \quad (1-32)$$

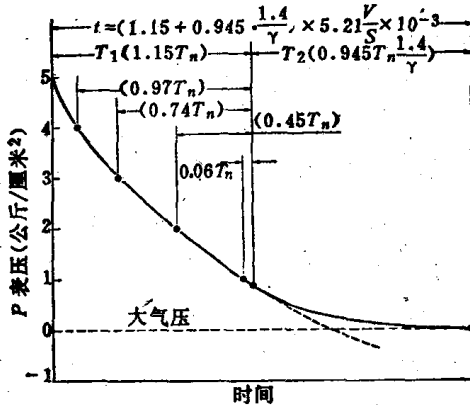


图1-6 放气时的压力-时间曲线

但因放入大气时，当容器内的气压下降到表压为 0.922 公斤/厘米²时，其流速即变成亚音速。所以放气时间要比按公式 (1-32) 算出的时间长。

由充气压力为表压 5 公斤/厘米²的容器中把空气全部放出到大气所经过的时间为：

$$\begin{aligned} t &= 1.15 T_n + 0.945 T_n \times \frac{1.4}{\gamma} \\ &= \left(1.15 + 0.945 \frac{1.4}{\gamma} \right) \times 5.21 \frac{V}{S} \times 10^{-3} \text{ [秒]} \quad (1-33) \end{aligned}$$

式中 γ 为多变指数，在以亚音速放出时接近等温变化；若小孔孔径比较大、短时间放出时可认为是由绝热状态所支配。若是等温状态 γ 等于 1.4；若是绝热状态 γ 等于 1。