

QING GONG YE QI YA CHUAN DONG

轻工业气压传动

郑家林 编著

• 轻工业出版社 •

内 容 提 要

本书从气压传动基础知识入手,首先说明了气动系统四大组成部分的基本原理、基本结构和选用方法,然后阐述了三种常用气动回路的原理及设计方法,最后列举分析了轻工业中一些典型应用实例。

本书可供各行业、特别是轻工业中从事气动技术的技术人员及工人学习使用,也可作为有关轻工院校教学参考用书。

轻工业气压传动

郑家林 编著

*

轻工业出版社出版

(北京广安门南滨河路25号)

北京胶印三厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

850 × 1168毫米1/32印张: 8.25 字数: 208 千字

1989年4月 第一版第一次印刷

印数: 1—2,000 定价: 7.90元

ISBN 7—5019—0495—2/T S · 0040

前 言

气压传动,是以压缩空气为动力实现各种机械传动和控制的一种手段。由于它具有结构简单、不污染环境、寿命长、防火、防爆、防电磁干扰等一系列优点,已发展成为工业生产中机、电、液、气四种基本传动和控制方式的一个重要组成部分。许多工业发达国家,气压传动的发展速度,已有超过液压传动发展速度的趋势。

随着我国四化建设的飞速发展,气动技术在国防、机械、冶金、矿业、电子、纺织、轻工等许多工业部门的应用正日益增多。由于轻工业、食品工业、包装工业设备大多有干净、机构简单、动作迅速、程序更改方便等要求,采用气动机构尤为合适,因此近年来应用得更加广泛。

本书共分十章。第一章是基础知识,介绍了气压传动概况和组成气动元件的基础构件。第二、三、四、五章分别阐述了气动系统四大组成部分——气源、阀、缸和辅助元件的结构、工作原理及其选用方法。在已认识各种元件的基础上,第六、七、八章,分别阐述了常用三种回路(基本回路、逻辑回路和程序控制回路)的工作原理及其设计方法。第九章说明了如何应用上述元件及回路组成一个气动系统。第十章是应用例题。可见,整书内容是按:基础—元件—回路—系统—应用,这一规律写成的,既便于自学,又便于参考。这是本书的第一个特点。

本书的第二个特点是通过对轻工业几个典型应用实例的剖析,使读者学会如何分析已有设备的气动线路和如何更好地设计一个气动线路。为此,本书不但适宜于轻工业、也同样适宜于其他行业从事气压传动技术的人员使用。

本书在编写过程中,曾得到许多轻工业工厂、研究所、上海

工业大学、清华大学和许多轻工院校的大力支持,这里表示感谢。

限于作者的水平,书中难免出现各种缺点和错误,切望本书读者,能从各个角度提出宝贵的指正意见,共同为发展气动这一技术学科而努力。

编者

目 录

第一章 气动技术的基础知识	(1)
第一节 气动系统的工作原理、组成及特点	(1)
第二节 气动元件的基础构件	(5)
第二章 压缩空气的产生和处理	(21)
第一节 压缩空气及气源系统	(21)
第二节 空气压缩机	(22)
第三节 压缩空气处理设备	(24)
第三章 空气控制阀	(39)
第一节 压力控制阀	(39)
第二节 流量控制阀	(47)
第三节 方向控制阀	(51)
第四章 气缸及气动马达	(81)
第一节 气缸	(81)
第二节 气动马达	(98)
第五章 气动系统辅件	(102)
第一节 气动传感器	(102)
第二节 转换器	(108)
第三节 消声器	
第四节 管路和管接头	(112)
第六章 气动基本回路	
第一节 基本回路及气动线路的特点	(119)
第二节 压力控制回路	(120)
第三节 速度控制回路	(123)
第四节 方向控制回路	(129)
第五节 常用基本回路	(130)

第六节	常用安全回路	(135)
第七节	气缸的顺序动作回路	(138)
第七章	气动逻辑控制回路	(142)
第一节	逻辑控制概说	(142)
第二节	逻辑控制回路的基本元件	(143)
第三节	常用气动逻辑元件	(148)
第四节	逻辑代数基础及其运算定理	(157)
第五节	利用逻辑代数进行线路设计的实例	(160)
第八章	气动程序控制回路	(164)
第一节	程序控制回路及其分类	(164)
第二节	时间程序控制回路及其设计	(165)
第三节	多缸单往复行程程序回路及其设计	(168)
第四节	多缸多往复行程程序回路及其设计	(191)
第九章	气动系统设计	(203)
第一节	确定工艺对气动系统的要求	(203)
第二节	拟定气动系统原理图	(203)
第三节	执行机构型式的决定及其工艺计算	(205)
第四节	空压机供气压力及排气量的确定	(208)
第五节	控制阀的选择	(210)
第六节	气体管路的设计计算	(210)
第七节	绘制正式工作图和编制技术文件	(214)
第八节	应用气动系统时的注意事项	(215)
第十章	气压传动在轻工业中的应用	(218)
第一节	制鞋压合机气动机构	(218)
第二节	缝纫机上轴车弯专用气动机床	(220)
第三节	日用化工行业的气动机械	(224)
第四节	半自动气动卸瓶机气路分析	(229)
第五节	自行车轴碗气动砂光机	(234)
第六节	轻工业容易实现的几项气动技术	(240)

参考文献	(251)
------------	-------

附录

一、各种压力单位及换算关系	(251)
二、常用气动系统图形符号	(252)
三、常用逻辑元件图形符号	(253)
四、气动元件厂名录及产品介绍	(256)

第一章 气动技术的基础知识

本章是气动技术的基础知识。主要有两部分内容：一是概论，说明气动技术的原理、组成、特点；二是基础构件介绍，阐明组成气动元件基础构件的原理，为更好地掌握气动元件和气动系统打下基础。关于气体性质及气体力学等基础知识已多有专著，这里不再赘述。

第一节 气动系统的工作原理、组成及特点

一、气动系统的工作原理

我们首先以最常见的公共汽车和无轨电车开关门装置，做为认识气动技术的例子。

图1-1用职能符号绘出了这种开关门装置的气动系统图。

我们看到，这个气路是由一只差动气缸5、一只手动二位三通换向阀2、电磁控制二位三通换向阀3及节流阀4所组成。这套装置，安装在车门顶部。

其动作过程是这样的：平时，阀2处于右方格位置工作。通过阀2右方格的压缩空气进入气缸5左腔推动活塞向右。而气缸右侧气体通过节流阀4、换向阀3排至大气，实现关门动作。

欲开门时，只要将换向阀3通电（司机或售票员按按钮），阀3转换到右方格工作，气流通过阀3右方格及节流阀4进入气缸右腔，推动活塞向左，实现开门动作。

开门时，活塞两侧都有压缩空气，但活塞两侧面积不等（ $A_1 > A_2$ ），可见，此时向左推动活塞的力为： $p \cdot A_1 - p \cdot A_2$ 。这样，

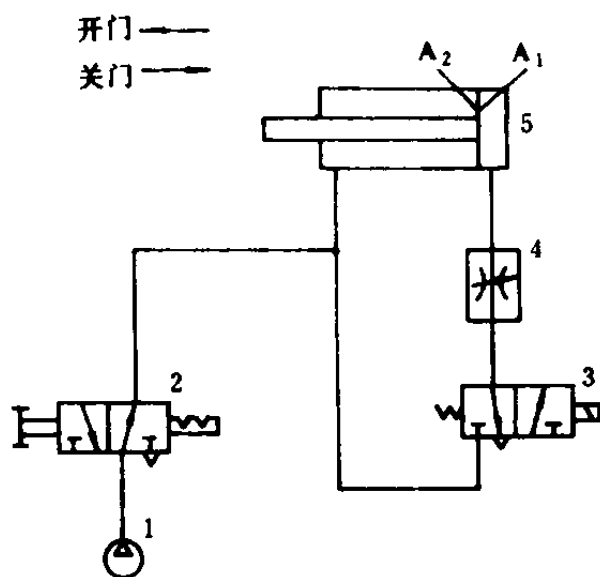


图 1 - 1 电车气动开门机构

活塞就在此压力差的推动下，向左运动，将门打开。只要再按动断电按钮，换向阀 3 断电，变成左方格工作，车门就关闭。

调节节流阀 4 可以改变开关门的速度。阀 2，一般只在检修时使用。电车厂在维修时，把开关门的时间，调节在“开 2 关 3”的范围，即开门用 2 秒，关门用 3 秒。

压缩空气由空气压缩机 1 供给。

通过这个例子，我们可以认为，所谓气动系统，就是以压缩空气〔一般用 $(2 \sim 8) \times 10^5 \text{Pa}$ 〕为动力，利用各种控制元件（压力阀、流量阀、方向阀及各种逻辑阀）改变气流的压力、流量和方向，从而推动执行机构（气缸及气动马达）实现各种机械动作的气压传动和控制系统。

二、气动系统的组成

分析图 1 - 1 并综合许多气动系统后，可绘出图 1 - 2 所示的典型气动系统图。

图中 1 为空气压缩机，它一般由电动机带动，其作用是将自由空气进行压缩，产生压缩空气。2 为后冷却器，用以冷却从空压机送出的高温压缩空气。3 为油水分离器，用以分离空气中的

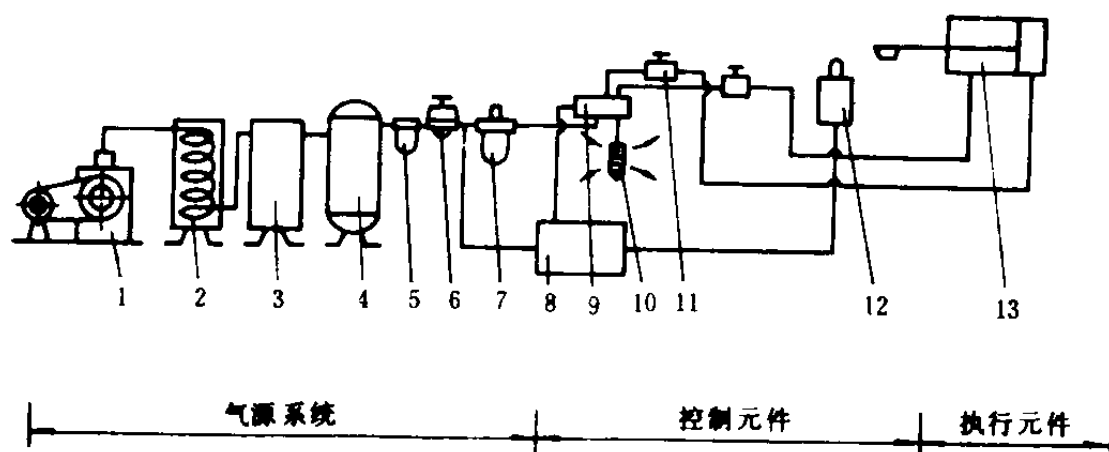


图 1 - 2 气动系统的组成

- | | | | |
|-----------|----------|-----------|----------|
| 1 — 空气压缩机 | 2 — 后冷却器 | 3 — 油水分离器 | 4 — 储气罐 |
| 5 — 分水滤气器 | 6 — 减压阀 | 7 — 油雾器 | 8 — 逻辑元件 |
| 9 — 方向阀 | 10 — 消声器 | 11 — 流量阀 | 12 — 行程阀 |
| 13 — 气缸 | | | |

油污及水分。4 为储气罐，储存压缩空气并稳定其压力。1 ~ 4 一般都设在工厂的空压机站内。5 为分水滤气器，用于进一步滤清压缩空气中的水滴和杂质。6 为减压阀，用于将气体压力调节到气动机械需用的工作压力。7 为油雾器，用于将润滑油喷成雾状，悬浮于压缩空气内，使阀类及气缸得到润滑。5、6、7 统称为气动三大件。经过上述设备处理过的压缩空气，再通过方向阀9、流量阀11以及各种压力阀所组成的回路，就可送到气缸13，推动活塞去做功。5 ~ 12一般都集中安置在气动工作机械附近。我们把气动三大件及其以前的各种气源处理设备，统称为气源系统。把各种控制元件按要求进行的组合，叫做回路。将回路与执行元件及各种辅件组合在一起，就组成了气动系统。

可见，气动系统主要由四个部分组成：

(1) 气源产生及处理系统 其主要作用是利用空气压缩机将空气压缩，产生整个气动系统所需要的工作介质——压缩空气。为使各种气动元件能正常工作，还要对压缩空气进行各种净化处理。

(2) 控制元件 用来控制压缩空气的压力、流量和方向,使执行元件能够完成预定的运动规律。主要有压力阀、流量阀、方向阀及各种逻辑元件等。

(3) 执行元件 在压缩空气的推动下,执行元件完成各种工艺动作,并输出一定的功率。常用的有直线运动的气缸和回转运动的气动马达等。

(4) 辅助元件 系统中上述装置以外的部分,都可归为辅助元件。如传感器、气—电转换器、消声器、管道、管接头等。

三、气动技术的特点及其适用范围

由于气动技术采用压缩空气为工作介质,就决定了它具有下列一些特点:

(一) 由空气的物理化学性质所决定的特点

(1) 空气介质到处可取,用后又可任意排到大气,不但介质不花费用,又可省去一套回气管道。

(2) 空气的化学性能稳定,气动系统可在易燃、易爆、潮湿、多尘、强磁、振动、辐射等恶劣条件下工作。

(3) 外泄漏不会像液压油那样形成污染,因而工作环境干净、卫生。

(二) 由空气的流动性能所决定的特点

(1) 空气粘度小,阻力损失也很小,便于集中供气和实现远距离控制。例如可全厂设置一个空压站,向各个车间供气。对一个长达100米的气动控制自动线,可实现控制台的远距离操作。

(2) 气动速度快,反应快,容易实现各种逻辑控制及快速动作。

(三) 由空气的可压缩性所决定的特点

(1) 功率较小,一般多用于小于1吨力的场合。

(2) 由于使用压力不高和即使元件稍有泄漏也能正常工作

作，因而对元件的密封要求相对较低。元件容易制造，使用维修方便，成本低，寿命长。

（3）利用气体的压缩性，可实现某些特殊功能。例如夹取玻璃器具的软囊机械手，气缸供给有一定弹性的拉（压）力及实现过载保护等。

（4）不易实现准确地速度控制和很高的定位精度。负载变化对系统的稳定性影响较大。

（5）可用储气罐储存一定量的压缩空气，以备随时取用。这样，气压传动最适合应用于下列场合：

（1）凡要求实现功率不大，速度要求不太精确的直线运动场合，采用气缸最为方便。

（2）在要求无异味、无油污等许多轻工业生产场合，如食品、服装、制鞋、纸张、包装等，采用气压传动最为适宜。

（3）有一定的动作程序要求，但又不是非常复杂的专用动作程序场合，采用气动逻辑控制或方向阀控制，最为方便。

也可以实现各种复杂的程序控制动作（如制鞋工业中的三绷机，缝纫机底板加工自动线，铸造自动线……）。

（4）在粉尘较大，温度较高或较低以及潮湿等场合，如铸造、拌粉、玻璃、陶瓷、冰棍、灌酒等生产部门，都早已采用了气动技术。

（5）凡要求功率不大，转数较高，又要瞬时反转的场合，使用气动马达最为合理。

目前，轻工业生产许多部门，已经采用了各种气动机构。气动技术的迅速发展，必将为轻工业生产的自动化、半自动化发挥更大的作用。

第二节 气动元件的基础构件

正如电子线路是由电阻、电容等一些基本元件所组成，气动

线路及许多气动元件也是由气阻、气容、喷嘴挡板、弹性构件等基础构件所组成。下面，简述这些基础构件的基本原理。

一、气阻

凡是阻碍气体流动的机构，都称为气阻，或叫做节流元件。如气体通过毛细管节流，毛细管就是气阻；气体通过减压阀降压，减压阀也是气阻；控制气缸运动速度的单向节流阀也是气阻；气体在管道内流动，受到阻力，管道也是气阻。气阻虽造成了能量损失，却可用来控制压力和流量的大小。

(一) 气阻的种类与特性

图 1 - 3 绘出了最常见的几种气阻。

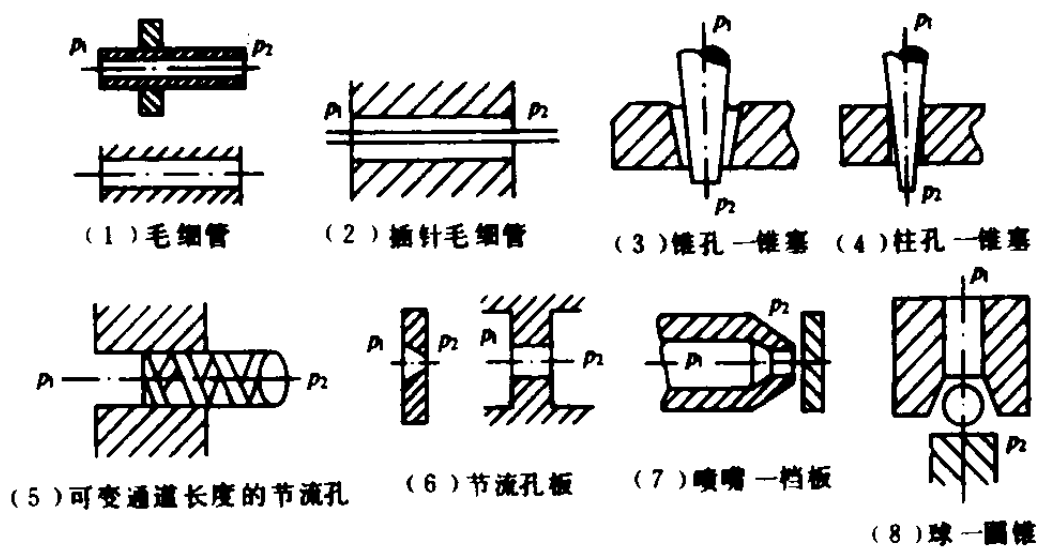


图 1 - 3 常用气阻

当气流通过前 3 种细长通道气阻时，一般呈现层流流动。当气流通过后 5 种气阻时，则呈现紊流流动。前者称为线性气阻，后者称为非线性气阻。

据实验测定，上面各种结构形状的气阻中，气体的流动状态取决于流速、粘度和气阻的形状及尺寸等。

气阻的特性主要是指它的流量特性，即气流的压力降与流量

之间的关系:

$$Q = f(\Delta p)$$

(二) 线性气阻与非线性气阻

1. 线性气阻

由实验知道, 当气流在气阻中呈层流流动时, 它的压力降与流量成正比关系, 若以压力降做纵坐标、流量做横坐标, 绘出二者的关系曲线, 将看到二者间完全是直线关系, 这根直线的斜率就表示气阻值, 斜率越大, 阻值就越大。

线性气阻也可模拟电学方法表示为:

$$R = \frac{\Delta p}{Q} \quad (\text{N} \cdot \text{s} / \text{cm}^5) \quad (1-1)$$

式中 Δ —— 压力降 (N / cm^2)

Q —— 流量 (cm^3 / s)

这就说明, 在某一线性气阻内, 随着气体流量的增加, 其压力降也成比例的增加, 增加的倍数为气阻 R 。这正象某一电路中 $R = \frac{U}{I}$, 电流 I 越大, 压力降 U 越大一样。

理论及实验证明, 气流在针管、温度计等毛细管孔中流动时, 气阻与管长、气体粘度成正比, 而与内径的 4 次方成反比:

$$R = \frac{2 B \cdot \mu \cdot l}{\pi d^4} \quad (\text{N} \cdot \text{s} / \text{cm}^5) \quad (1-2)$$

式中 l —— 毛细管长 (cm)

d —— 毛细管内径 (cm)

μ —— 气体的绝对粘度 ($\text{N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$)

B —— l/d 的影响系数, 取决于 l/d 的比值, 见表 1-1。

为保证节流孔内为层流流动, 节流孔一般都具有狭窄的通道。

表 1-1

l/d 与 B 值

l/d	10	15	20	30	40	50	60	70	80	100	150	200	300	400	500
B	175	136	119	102	94	88	84	80	77	74	71	70	68	67	66

2. 非线性气阻

这种气阻的压力降—流量之间不是直线关系，所以叫非线性气阻。气流在这种气阻中的流动呈紊流状态，也称紊流型气阻。由于这种气阻的形式多种多样，就使得压力降与流量之间的关系更趋复杂。

根据气阻的定义，可得出非线性气阻的阻值为：

$$R = \frac{d(\Delta p)}{dQ}$$

由于非线性气阻的复杂性，不可能建立出统一的计算公式，数值只能由实验确定。

非线性气阻的特性虽然不好，但由于结构简单，用途仍很广泛。

3. 可调气阻

可调气阻也叫“变节流孔”，是组成各种流量控制阀的基本构件。线路中也常常安排可调气阻，用来控制压力和流量。

可调针阀式气阻是常见结构。它结构紧凑，调节准确，亦可实现微量调节。

二、气 容

凡能贮藏气体的空间如管道、容器都是气容。它起着贮存或放出气体的作用。气容是组成各种延时器、延时阀的基本构件。

为能定量表示气容贮存或放出气体能力的大小，可把气容定义为每升高单位压力所需要增加的气体量。如用 C 表示气容，则：

$$C = \frac{\int Q \cdot dt}{dP} \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{Pa}} \right) \quad (1-3)$$

(一) 气容的分类

根据气容压力和容积之间的关系，可以分为定积气容、定压气容和弹性气容三种。

1. 定积气容

凡体积为恒定，压力为变量的气容，就是定积气容。

氧气瓶、贮气罐、管路包含的空间，都是定积气容。其他如图 1-4 中 (1) (2) (3) 所示，都是定积气容。

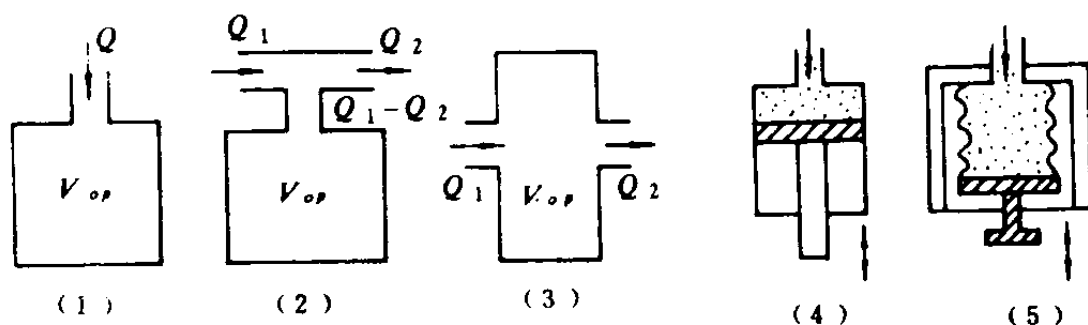


图 1-4 气容

2. 定压气容

凡压力为恒定、体积为变量的气容，就是定压气容。

外力恒定的气缸及据压力而改变体积的储气罐等都是定压气容。

3. 弹性气容

凡体积和压力都是变量的气容，就是弹性气容。

带有可调螺杆的活塞式气缸，是弹性气容。气动仪表中常用的波纹管，也是弹性气容。用这种弹性气容，可制成“可调气容”。如图 1-4 中的 (4) 和 (5)。

(二) 气容充气温度与时间的计算

向气容（气罐）充气，是一个复杂的物理过程，其中伴随着

温度的变化及气体由声速向亚声速的转变。气容内压力变化与时间的关系如图 1 - 5 所示。

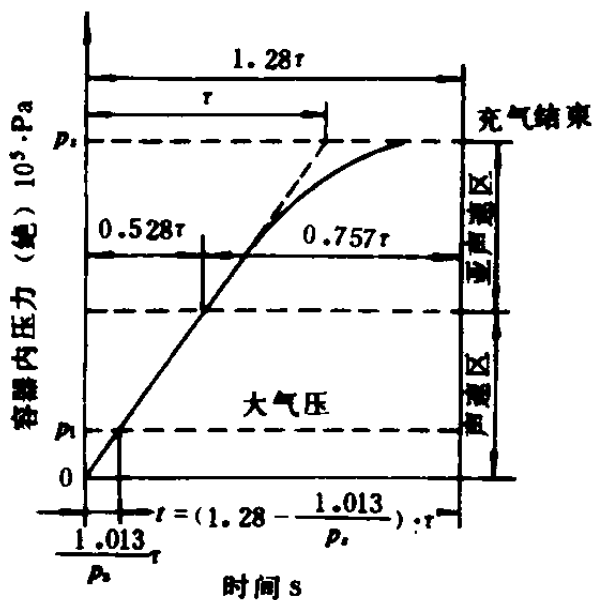


图 1 - 5 充气时的压力 - 时间曲线

当向气容内充气，气容内压力从 p_1 升高到 p_2 ，气容内温度因绝热压缩从室温 T_1 升高到 T_2 ，充气后的温度，可由式（1 - 4）求得：

$$T_2 = \frac{k}{1 + \frac{p_1}{p_2} \cdot (k - 1)} \cdot T_s \text{ (K)} \tag{1 - 4}$$

式中 T_s ——气源绝对温度（K）
 k ——绝热指数

如果充气至 p_2 时，立即关闭阀门，通过气容壁的散热，容器内温度下降，压力也下降。当温度下降至室温时，容器内的压力为：

$$p = p_2 \cdot \frac{T_1}{T_2} \quad (P_a)$$

式中 p ——充气达到室温时，容器内稳定的压力值。