

# 压缩与膨胀热力学

## 热力学的另一半

宋学让 著

14.1  
32



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

华北水利水电学院图书馆



209150130

宋学让 著

O414.1

S782

# 压缩与膨胀热力学

## 热力学的另一半



8A7410X



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

915013

## 内 容 提 要

本书提出了热力学七条基本原理及其多条派生原理,可归纳为三大原理体系:第一个是大气压力跟随功原理体系;第二个是功热对抗原理体系;第三个是在常态下(万有引力作用下)气体分子具有势能原理体系。传统热力学是以功热转化为主体的,本书突出了功热对抗这个主体,这两个主体不是对立的,而是协调地统一在一起。本书所述的原原理体系,内涵深刻,语言通俗。

本书可供从事热力研究的专家、学者、热力设计的工程师和高等院校师生以及企业部分科技人员阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

压缩与膨胀热力学:热力学的另一半/宋学让著.

北京:中国水利水电出版社,2004

ISBN 7-5084-1947-2

I. 压... II. 宋... III. ①压缩—热力学②热膨胀  
N. 0414.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第017510号

书 名	压缩与膨胀热力学——热力学的另一半
作 者	宋学让 著
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: <a href="http://www.waterpub.com.cn">www.waterpub.com.cn</a> E-mail: <a href="mailto:sales@waterpub.com.cn">sales@waterpub.com.cn</a> 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	850mm×1168mm 32开本 6印张 161千字
版 次	2004年5月第1版 2004年5月第1次印刷
印 数	0001—3100册
定 价	18.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 序



本书作者曾长期从事热力工程工作，他早已发现了大气压力跟随功原理及其导致的制热效果与热力学公式计算的制热效果不符。作者经过仔细研究，发现了气体在压缩中超高制热效果的有关原理，而这正是很多专家、学者所忽略的问题。

为了解决寒冷地区廉价供热问题，作者经过多年探索，研究了各种文献资料，发现了热力学新的有关原理，如大气压力跟随功原理、功热对抗原理、在万有引力作用下气体分子具有势能的原理以及它们的派生原理。如同爱因斯坦的相对论向经典力学提出的挑战，并对其在微观高速运动领域的不足进行了大胆的修正那样，本书提出的新原理是对传统热力学提出的挑战，并对其缺陷进行了修正和补充，提出这些新原理是需要极大勇气的科学探索。

作者根据这些新原理，提出了“超效采暖站”的原理性设计方案。如果从事热力设计的工程师们能根据这个方案研制出超效采暖站的话，将是现有制热技术所无法达到的具有极高效果的采暖站。从能量转换关系上讲，这种采暖站是把大气储存的分散的热能通过大气压力跟随功的方式转变为集中供热，而地球大气中储存的热能是十分巨大的，并且随着地球温室气体排放量的增加，大气温度逐年上升以及随着太阳的照射，不断补充着大气热能，所以大气热能是取之不尽的。这种采暖站一旦研制成功，对解决世界热能的供给将会开辟一条新的广阔的大道。

正像任何一项重大科学规律的发现一样，由于作者知识的局限性和实际条件的限制，新原理和超效采暖站的设计方案会存在

各种缺陷和不足。所以，希望从事热力研究的专家、学者和热力设计的工程师以及从事物理学教学研究的高校师生们能认真阅读本书，并能与作者进行深入探讨，并最终能够成为我国和世界热能供给的一条新的大道。由于大气热能是继石油、煤炭、核能之后的一种新的取之不尽的能源，研究、开发、利用这种能源，对人类的生存和发展具有十分重大的意义。

李世才  
2004年2月

# 前 言



本书的探索基于超效采暖站的有关原理，又由于对原理的探索超出了这个范围，构成了热力学的重要基础，所以本书命名为“压缩与膨胀热力学”。

本书提出了七条基本原理，它和复合派生原理构成了三大原理体系，这七条基本原理是怎样确认的呢？

1990年，在我重温《热力学底理论基础》<sup>[1]</sup>时，其中4.2节是叙述“压气机的功”的，书中谈到，活塞往返一个行程后，大气的功为零。我觉察到大气的功不为零，而是大气向体系做了功。我为什么敢于确认大气做了功呢？早在1978年我曾对运动在大气中的物体（包括水汽和雨）能量感兴趣，算了很多能量账，对物体和空气动、势能的变化有了深刻印象，于是在1990年写下了“大气压力跟随功原理”的初稿。

在我确认大气压力伴随压缩过程可做功之后，就设想利用它为人类造福，构想了“超效采暖站”，即本书的第二章。在第二章中我写到一句这样的话：“本装置既利用过程的热量，也利用了过程的功量，即功、热皆利用”。“功、热皆利用”这句话具有深刻的含义，因为功和热的总量超过了压缩功的值，这一点我也是早有深刻印象的，因为早在1958年我曾设计过一种蓄电站，是利用压缩空气储能的，这种设计是利用过程的功量，而不是利用过程的热量。如果利用过程的热量取暖的话，就是利用过程的热量。

以后我想到的是，如果我们既利用过程的功量，又利用过程热量的话，将会获得超额的功热总值。但是我深刻地懂得，能量是不会超值的，也就是说能量是守恒的，是实质上的守恒，这才

是真正热力学第一定律，功热等价不是真正热力学第一定律。

计算指出，气体在压缩中，热量所接受的压缩功的值是少量的，这就是第三章的中心内容，即“气体在压缩中热量的温位升迁功原理”。于是，进一步认识到，压缩功的主值储存在气体的弹性收缩中，这部分内能就是第四章的中心内容，即气体在压缩中密度内能变化的定量关系，并进一步确认了在常态下气体分子具有势能的原理。

经过长期反复计算，发现了气体在膨胀中的阻滞功原理，即第五章的中心内容。

当写到第八章时，又对第四章的中心内容“密度内能变化的定量关系”产生了更为抽象、更为深刻的认识，那就是第五条基本原理——气体在压缩中的功热对抗原理。随之而写的是第六、七两条基本原理，此二原理是对盖吕萨克——焦耳实验事实的解释，因为，该实验是未曾探明原理的实验。

第九章应用了大气压力跟随功原理，阐明了一条派生原理，即气体定压过程和定容过程的比热容是相等的，可以想象，这将对热力学产生什么影响。

第十章论证了气体在定压、定容、等温、绝热和多变过程中，熵公式具有简明的统一性。

“压缩与膨胀热力学”的第一个精髓是“大气压力跟随功原理”；第二个精髓是“受压缩气体与外界在能量上的综合平衡就是压力上的平衡”；第三个精髓是“气体膨胀功的双因素原理”；第四个精髓是气体在压缩中“功热俱在原理”；第五个精髓是“气体自由膨胀温度不变原理”。

整个研究和撰写过程是多次反复的过程。本书中部分章节均在相关刊物上陆续公开发表过。

对空气能源的开发不仅是取暖问题，同时也是工业用热值得探讨的问题。

第二章的标题是“构想中的超效采暖站”其实也是一种供热站，采暖站的初步方案也是供热站的初步方案，两者所不同的是：

采暖多指生活用热，而供热可包括工业用热。

本书的书名曾经考虑采用“超效供热站原理”，因为若要深入地彻底地叙述超效原理，必须全面动用本书提出的三大原理体系。请参看 2.4.5 节“功、热皆利用”，那里提到，超效采暖站不但在利用过程的热量，而且在利用过程的功量，即功热皆利用。然而，功和热的总量是超值的，这种超值关系不能用热力学第一定律进行解释，可用本书提出的“以功论能”的原则进行解释，这种解释其实就是第一定律的另一种形式。

爱因斯坦曾经说过，科学绝不是也永远不会是一本写完的书。本书的第一版作为征求意见稿，望读者提出宝贵意见，再版时提名致谢。

本书的计算较为浅显，读者的着力点应该是物理概念（物理思想），物理概念是需要反复阅读和认真理解的，它是指导性思想，它比数学推导更重要。

传统热力学是以其第一、第二定律和气体状态方程为基础的，本文的“三大原理体系”是热力学基础内容的另一部分。既然是基础，它将影响到热力学的方方面面。若要将这“三大原理体系”渗透到各个方面，将是一个庞大工程，不是某一个人所能完成的，希望有识之士在发展和应用基础理论方面发挥重要作用，为重新建立热力学这个大厦共同努力。本书有些观点是作者多年探索、研究的结果，可能与目前热力学的观点不一致，望广大读者阅读时注意，此书谨供参考。由于作者水平有限，书中不妥和错误之处在所难免，恳请广大读者提出宝贵意见。

作 者

2004 年 2 月



# 目 录

序

前言

<b>第一章 大气压力跟随功及其原理</b> .....	1
1.1 身居大气压力这个“海洋”中，察不出大气势能的变化 .....	1
1.2 气柱随活塞的推进而助推 .....	3
1.3 热工学对大气压力跟随功尚无正确认识 .....	4
1.4 大气压力跟随功根本原理的发现 .....	5
1.5 如何算这个热量账 .....	6
1.6 开口过程与闭口过程的不同 .....	7
1.7 双重压缩功和双重膨胀功 .....	7
1.8 大气压力跟进功及其示功图 .....	8
1.9 把大气压力跟随功的原理点透 .....	12
1.10 汽化热中包含大气压力跟出功 .....	13
1.11 热机的实际效率比卡诺热效率低得多 .....	14
<b>第二章 构想中的超效采暖站</b> .....	16
2.1 超效采暖站的初步方案 .....	17
2.2 具有超高效果的开口式热泵 .....	18
2.3 具有力能反馈功能的开口式热泵功热比计算例 .....	19
2.4 力能反馈的重要意义 .....	22
2.5 开口式热泵具有超高制热系数的实质 .....	24
2.6 构想中超效采暖站“制热系数方程式的独立性” .....	24
2.7 探讨解决我国北方取暖问题 .....	27
2.8 结论与希望 .....	28
<b>第三章 气体在压缩中热量的温位升迁功及其原理</b> .....	29
3.1 隐热量和显热量 .....	30
3.2 习惯上所指的能量——显能量 .....	30

3.3	隐热量和显热量的概念是十分重要的概念 .....	30
3.4	热量的温位升迁功概念 .....	31
3.5	卡诺热效率及制热、制冷系数 .....	31
3.6	温位升迁功原理 .....	32
3.7	卡诺循环的逆过程 .....	33
3.8	讲热能时不能只论热量而不论其温度 .....	33
3.9	对卡诺热效率公式的修正意见 .....	34
3.10	关于热量单位和功量单位 .....	34
3.11	输出热量和内热量具有相同的温度范围 .....	35
3.12	热量不能用来表示能量 .....	35
3.13	温度梯度与温位的概念 .....	36
3.14	关于温位升迁功 .....	36
3.15	定量压缩的温位升迁功 .....	37
3.16	内热量与输出热量升迁功 .....	37
3.17	连续压缩, 热量在恒温(固定温差)输出时的温位升迁功 .....	39
3.18	基础热量对抗压缩功的能力随着温位的变化而变化 .....	40
3.19	压缩中气体温位变化在一个梯度以下时, 热量的 抗功能力低下 .....	41
<b>第四章 气体在压缩中密度内能变化的定量关系 .....</b>		<b>42</b>
4.1	在常态下气体分子具有势能 .....	42
4.2	受压缩气体的内能包括密度内能 .....	44
4.3	关于焓 .....	45
4.4	密度势能随气体密度变化而变化 .....	47
4.5	等温压缩过程中气体内能有所增加 .....	48
4.6	密度内能概念的意义 .....	49
4.7	压缩功与热量之间的关系是排挤关系 .....	50
4.8	压缩过程中能量不会增值 .....	50
4.9	常温高密度气体绝热膨胀功的实质 .....	51
4.10	密度内能的出功量和热内能的出功量 .....	52
4.11	密度内能的定义 .....	53
4.12	热工学中的一道例题 <sup>[1]</sup> .....	53
4.13	未曾获得温位升迁功的热量 .....	58
4.14	气体在压缩中的热量不等于热量所接受的功 .....	58

4.15	功量的下滑性转化产物是热量，是功量的蜕变	59
4.16	以功论能和功热等量	60
4.17	热力学第一定律将更加稳定	60
4.18	初步提出气体在压缩中的功热俱在概念	61
<b>第五章</b>	<b>气体膨胀功的双因素原理及有关问题</b>	<b>62</b>
5.1	气体的内能是否仅跟温度有关	62
5.2	内热量的热功量	64
5.3	密度内能做功效率小于1的原理	66
5.4	气体热力膨胀的阻滞势能——欠密度阻滞势能	67
5.5	$\eta_Q$ 小于 $\eta_M$ 的原理	69
5.6	等压膨胀过程的欠密度阻滞势能	70
5.7	单因素膨胀和双因素膨胀	71
5.8	压缩与膨胀过程的能量沉浮图	72
<b>第六章</b>	<b>初算压缩与膨胀过程的能量账</b>	<b>76</b>
6.1	理想气体压缩与膨胀过程的基本计算	76
6.2	等温压缩后再做绝热膨胀功的基本计算例	80
6.3	绝热过程的能量账	83
6.4	初算压缩与膨胀过程的能量账	87
6.5	输出热量的抗功率及其方程式	94
<b>第七章</b>	<b>第一、二、三、四条基本原理的补充说明 及其派生原理</b>	<b>101</b>
7.1	第二条基本原理的补充说明	101
7.2	第三条基本原理的补充说明	107
7.3	第四条基本原理的补充说明	108
7.4	热量在压缩中趋显，在膨胀中趋隐的原理	110
7.5	压缩过程中热量的受功量只能是温位升迁功	111
7.6	压缩功如何替代热量	113
7.7	压缩功的值由气体密度变化和温度变化共同分享的原理	114
<b>第八章</b>	<b>第五、六、七条基本原理及其派生原理</b>	<b>116</b>
8.1	第五条基本原理——气体压缩过程中的功热俱在原理	116
8.2	第六条基本原理——气体扩容时的降温原理	

(自由膨胀降温) .....	120
8.3 第七条基本原理——气体无阻力膨胀时的功热转化原理 .....	121
8.4 第六、七条基本原理的复合派生原理——气体向真空膨胀时 温度不变原理 .....	121
8.5 用计算证明气体向真空膨胀时温度是不变的 .....	124
8.6 理想气体自由膨胀时温度不变原理 .....	125
8.7 第五、六 七条基本原理的集中显示 .....	125
8.8 体系向真空膨胀时温度不变原理的另外两种表现 .....	126
8.9 等温压缩状态储存了全部压缩功 .....	126
8.10 膨胀过程与压缩过程的重要区别 .....	127
8.11 等压过程的三方力能平衡 .....	128
8.12 气体在自由膨胀中密度内能亏损的原理 .....	128
8.13 气体向真空膨胀温度不变过程伴随于气体的一切 膨胀过程中 .....	129
<b>第九章 大气压力跟随功原理及诸原理的应用事例 .....</b>	<b>132</b>
9.1 热效率小于1的补充原理及对公式的修正意见 .....	132
9.2 制热和制冷系数方程式 .....	134
9.3 从气体膨胀中获得的机械功具有低浮性 .....	143
9.4 不带机械负荷的膨胀功 .....	144
<b>第十章 闭口热力系的“熵变”与内能密度 .....</b>	<b>147</b>
10.1 定压过程比热容与定容过程比热容的差值 .....	147
10.2 熵公式中的矛盾分析及熵公式修正意见 .....	152
10.3 扩容容积比热 .....	163
10.4 气体的内能密度和能量品位 .....	165
10.5 内能密度概念的重要意义 .....	169
<b>结论 .....</b>	<b>170</b>
<b>附录 A 常用公式 .....</b>	<b>173</b>
<b>附录 B 符号说明 .....</b>	<b>175</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>178</b>

# 第一章 大气压力跟随功及其原理

本章揭示气体压缩与膨胀过程中的大气压力跟随功，压缩中存在大气压力跟进功，膨胀中存在着大气压力跟出功。也就是大气压力可以做功，但不能独立地做功，必须伴随一种过程，因此称为“大气压力跟随功”。此过程是一种能量投入过程，也是能量的获得过程，如果机械能的投入是连续的，超额热量的获得亦是连续的，超额热量主要来自大气压力跟进功。这是整个物理学尚未明确的原理。此原理的提出，可为人们利用“大气压力跟随功”提供可能，这一原理是1990年发现的，是一环扣一环地发展过来的，因此是十分肯定的完全可靠的原理。

## 1.1 身居大气压力这个“海洋”中， 察不出大气势能的变化

### 1.1.1 物体在大气中升降时空气势能亦在变化

我们在大气中的一切运动，不论乘车乘船，不论骑车步行，或者飞行，我们只知人或物体到达了什么地方，而不曾想过，我们的一举一动都在和相等容积的空气交换着位置。运动中如果没有高度上的变化，也就没有势能的变化。如果位置有所升迁，人或物体的势能就在增加，而同容积的air的势能则在减少。相反地，如果人或物体的位置有所降迁，则其势能在减少，同容积空气的势能在增加。以下用物体在液体中的沉浮作比喻。

### 1.1.2 物体在液体中的沉浮

当物体在液体中下沉时，不能只看见物体的下沉，而看不到同容积液体在上升；物体在液体中浮升时，不能只看见物体的浮

升，而看不见同容积液体在下沉。

当下沉物体在获得沉落动能  $m_1v^2/2$  的同时，同容积上升液体亦获得了上升动能  $m_2v^2/2$  ( $v$  为末速度)，二动能来自何处，此时不能只看见下沉物体势能的减少了  $m_1gh$ ，同时亦要看到同容积上升液体的势能增加了  $m_2gh$ ，也就是说，沉浮两物体动能之和来自两物体势能变化之差，写成式子时即是

$$(m_1 - m_2)gh = \frac{m_1v^2}{2} + \frac{m_2v^2}{2} \quad (1.1)^{\text{x}\text{①}}$$

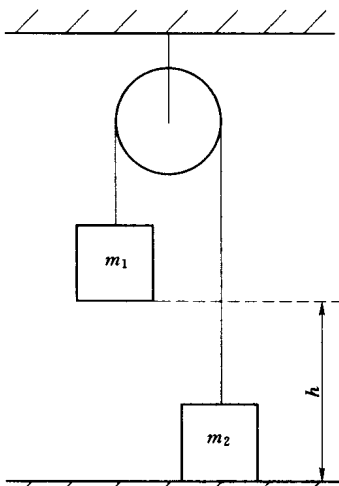


图 1.1 两物体在滑轮装置上的势能变化

正像如下的滑轮装置，为了概念上的清晰化，用机械运动作比喻加以说明如图 1.1 所示，设在真空中有一个滑轮装置，一条柔软的不可伸长的没有重量的绳子，绕过一个定滑轮，绳子两端悬挂质量为  $m_1$  和  $m_2$  两物体， $m_1 > m_2$ ，而且  $m_1$  的位置高于  $m_2$ ，距离为  $h$ 。 $m_1$  将加速下降，而  $m_2$  将加速上升，此时，加速度是  $\alpha$ ，而不是重力加速度  $g$ 。加速度  $\alpha = F/m$ ，由于重力  $F = m_1g - m_2g$  和质量  $m = m_1 + m_2$ ，所以

$$\alpha = \frac{(m_1 - m_2)g}{(m_1 + m_2)} \quad (1.2)$$

物体  $m_1$  的下降势能为

$$m_1ah = m_1 \frac{(m_1 - m_2)g}{(m_1 + m_2)} h \quad (1.3)$$

物体  $m_2$  的向上势能为

① 全书中公式序号右上角的符号“x”为作者提出的修正式。

$$m_2 ah = m_2 \frac{(m_1 - m_2)gh}{(m_1 + m_2)} \quad (1.4)$$

两物体势能之和为

$$\begin{aligned} & m_1 \frac{(m_1 - m_2)gh}{(m_1 + m_2)} + m_2 \frac{(m_1 - m_2)gh}{(m_1 + m_2)} \\ &= (m_1 + m_2) \frac{(m_1 - m_2)gh}{(m_1 + m_2)} \\ &= (m_1 - m_2)gh \end{aligned} \quad (1.5)$$

即两物体势能之和等于两物体重力势能之差。又由于动、势能相等，便有

$$(m_1 - m_2)gh = (m_1 + m_2) \frac{v^2}{2} \quad (1.6)^x$$

也就是说，两物体重力势能之差转化了两物体动能之和，物体在液体中的沉浮运动可以运用式 (1.2) ~ 式 (1.6) 进行理解。

由于气体具有明显的压缩性，物体在空气中的沉浮运动，不能简单套用以上公式，但是需要的是概念明确，需要理解压缩过程中，空气势能在变化，空气被压缩时，活塞上方的空气在下移，下移的气体势能在减少，这是不能忽视的。

以上动能公式不是用来描述大气压力跟随功的，大气势能的减少是由式 (1.7) 表示的。

## 1.2 气柱随活塞的推进而助推

压机活塞在推进时大气压力亦在助推，如图 1.2 所示。

活塞上方有一个气柱，这个气柱一直延伸到大气层顶。在压缩过程中，空气柱跟随下移。虽然事实上不只是一个气柱，但需要假设为一个气柱，这个气柱的总重量就是作用在活塞上方大气的总压力。当活塞向下推进时，整个气柱亦跟随下移。如果活塞下面是真空，气柱猛烈下移，活塞被迫下冲，气柱势能转化为冲击功。

气柱的跟随下移将导致气柱势能的减少，气柱势能减少不是

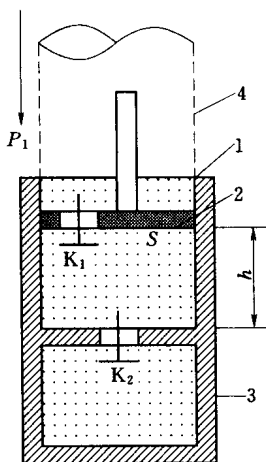


图 1.2 大气压力跟随功原理图

- 1—汽缸；2—活塞；  
 3—储气罐；4—气柱；  
 K<sub>1</sub>—进气活门；K<sub>2</sub>—储气活门；  
 P<sub>1</sub>—环境大气压；S—活塞截面积；  
 h—活塞行程

没有成效的，气柱势能减少量，等于受压缩气体内能的增加量，即

$$P_1Sh = P_1V = \Delta U \quad (1.7)^*$$

式中内能  $\Delta U$  不仅是热内能，还有密度内能，第四章将说明它的定量关系， $P_1$  为环境大气压， $S$  为活塞截面积， $h$  为活塞下移距离， $Sh = V$ ， $P_1V$  就是大气压力的功（热力学中不使用动能公式  $mv^2/2$ ）。

当活塞由下向上返回时，因为被压缩气体尚未膨胀，气柱并不上移。活塞在返回时，活塞上下均为一个大气压，外界新气进入气缸，等待下一个行程受压缩。

可以想象，当抽真空的时候是很艰难，因为它将是将一个沉重的大气柱向上推移。大气压力跟随功是一个隐蔽的伴随者，其原理并非轻松地一眼可见，但在讨论了气柱势能变化之后，便可为人们所接受。

作者发现了与自己观念不同的文献，即《热工学底理论基础》<sup>[1]</sup>一书中的 4.2 节压气机的功，也提到了大气空气的功，那里的概念含糊。文中结合示功图作了说明。书中是这样叙述的，如图 1.3 所示。

### 1.3 热工学对大气压力跟随功尚无正确认识

作者发现了与自己观念不同的文献，即《热工学底理论基础》<sup>[1]</sup>一书中的 4.2 节压气机的功，也提到了大气空气的功，那里的概念含糊。文中结合示功图作了说明。书中是这样叙述的，如图 1.3 所示。

工作过程这样开始，被压缩的气体即大气中的空气，经过阀门 K 进入汽缸，并推动活塞由左向右运动，线 4-1 表示进入汽缸中空气容积的增加。在这种情形下压力保持不变。然后由于作用



到活塞杆的外力，使空气沿着线 1-2 被压缩。在这以后，于定压下经阀门 L 将压缩空气排入容器中。线 2-3 表示汽缸内空气容积的减少。书中的关键性论述是：在活塞右面的大气空气的功，当活塞由左向右运动时是负的功，而当运动由右向左时是正的功，且在两个活塞冲程后，即在轴的一转后等于零。因此这个功我们不加以计算。在图 1.3 中，4-1-7-5-4 这个矩形面积是大气空气的功，由于这个功在轴的一转后等于零而未予计算。

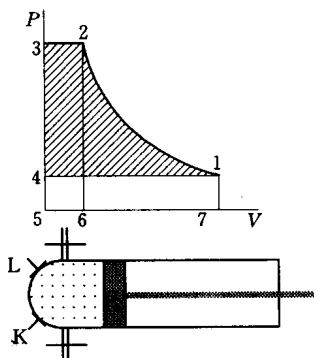


图 1.3 活塞式压缩机的示功图

这个矩形面积是大气空气的功，由于这个功在轴的一转后等于零而未予计算。

#### 1.4 大气压力跟随功根本原理的发现

1990 年，在细读上面一段叙述中，觉得其中的说理不能接受，在反复思考之后，终于认为其中有一个隐蔽的原理尚未揭示。上面一段中本无下滑线，作者加上了下滑线，表示这段话有问题。这就说明对大气压力跟进功要做到真正理解并非易事。本文的分析与上述不同，在图 1.4 中，轴的一转后，其功并非为零，当活塞由左向右运动时，阀门 K 打开，空气进入汽缸，活塞左右两面压力

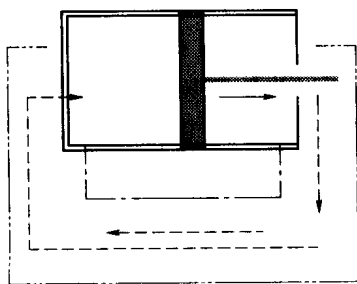


图 1.4 压气机活塞退出时环境气体流向图

相等，均为一个大气压，此时活塞是空行程，并未做功。当活塞自左至右运动时，右面在排气，左面在进气，相当于排出的空气沿着外周环路右出左进，所以活塞并未对大气做功，仅作流动功。

也就是，在活塞退出时大气