

热物理的新概念

宋学让 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

热物理的新概念

宋学让 著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书在“热物理”方面提出了7条基本原理和3个原理体系：大气压力跟随功原理体系；功热对抗原理体系；气体具有密度内能，在膨胀中，密度内能可直接转化为热内能的原理体系。介绍了这3个原理体系所包含的60多个关系式和方程式，并将这些关系式和方程式融入了有关热力计算中。

本书可供专家、学者、高校师生以及熟悉“热工基础”的有兴趣的读者阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

热物理的新概念/宋学让著. —北京: 中国水利水电出版社, 2009

ISBN 978-7-5084-6374-2

I. 热… II. 宋… III. 工程热物理学 IV. TK121

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 044665 号

书 作 者	名 者	热物理的新概念 宋学让 著
出版发行		中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 印 规 版 次 印 数 定 价	版 刷 格 次 数 价	中国水利水电出版社微机排版中心 北京市兴怀印刷厂 140mm×203mm 32开本 6.625印张 178千字 2009年5月第1版 2009年5月第1次印刷 0001—3000册 24.00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

前 言



本书是基于“大气压力跟随功”原理及其应用的可能性，扩大了研究范围，发现并试图应用相关原理。

由于作者早在1978年对运动在大气中的物体及伴随着物体运动的气体的能量问题已有充分研究，明白气体变位时的能量转化，在1990年写下了“大气压力跟随功”原理的初稿。

在确认大气压力跟随功原理之后，为了在某一方面解决节能问题，构想了“超效采暖站模型”，试图令大气压力跟随功为人类作贡献。在此基础上论述了“温位升迁功原理”、“气体在压缩中密度内能变化的定量关系”和“气体膨胀功的双因素原理”等理论。此后又提出了第五条基本原理——气体在压缩中的功热对抗原理。于是跟踪而至的是第六、七两条基本原理。

作者构想的“超效采暖站”是否能够转化为现实，暂时不能肯定。但需要说明的是，科学的进步往往源于解决技术问题，在研究技术问题的过程中，可能遇到某一原理尚未明确，当有关原理明确之后，也许能够解决该技术问题，也许因为其他原因仍然不能解决该技术问题，或者暂时不能解决该技术问题。另一种可能是，新原理可能成为一种新观念，或者在另一个方面结出科技硕果。

在自然科学发展中，错误最多的莫过于热力学，发展的难点是什么，是热力学特别是对气体的最基本的问题缺乏充分的研究，不够扎实。如果没有牢固的基础，上层的东西就会自相矛盾，有些论断必将受到制约。本书试图让热力学最基本的问题更加充实，力图从根本上解决发展中错误过多的问题。

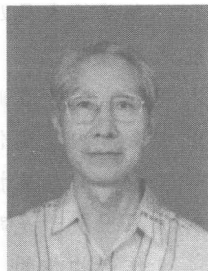
在热工学上，除了基本知识尚有空白之外，还因为实验上具有一定难度，例如盖·吕萨克—焦耳实验至今已经一个半世纪，人们对此实验的认识仍停滞不前。

本书第9章提出了气体密度内能远大于热内能，密度内能是气体内能的主值。此外还提出了“内能密度”概念，试图补充熵概念的不足。

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。特别是对于这个内容全新的专著，很难想象会是完美无缺的，更由于本人水平有限，错误和缺陷实属难免，恳请广大读者提出宝贵意见。对此感兴趣的读者可继续深入研究，开拓新空间，拓展新领域。

作者

2009年4月



目 录

前言

绪论	1
第 1 章 大气压力跟随功及其原理	9
1.1 大气压力跟随功原理	9
1.2 闭口过程是否存在大气压力跟进功	25
1.3 定压容积比热容与定容容积比热容的差值的含义	28
1.4 大气压力跟随功原理的启蒙原理	28
第 2 章 气体在压缩中热量的“温位升迁功”原理	33
2.1 隐热量和显热量	33
2.2 气体在压缩中升温的原因	34
2.3 制冷机和热泵中的“热量转移”	35
2.4 理想气体的压缩与膨胀过程亦存在“热量转移”	35
2.5 大气压力跟进功在全部压缩功中所占的分量	36
2.6 为阐述新原理而设计的高能效采暖装置模型	37
2.7 气体压缩中的温位升迁功概念	41
2.8 连续压缩, 热量在恒温(固定温差)输出时的温位升迁功	43
2.9 温位阶度概念	46
2.10 温位升迁功关系式的至真原理	47
2.11 热量单位和功量单位	49
第 3 章 气体在压缩中密度内能变化的定量关系	51
3.1 在常态下气体具有密度势能的原理	52
3.2 受压缩气体的内能包括密度内能	54
3.3 密度势能随气体密度变化而变化	54
3.4 热力学忽视了气体密度内能的变化	55

3.5	气体状态变化的综合平衡	56
3.6	气体的内能是否仅跟温度有关	57
3.7	“密度内能是热能的表现形式”吗	57
3.8	“密度内能概念”的意义	58
3.9	压缩功与热内能之间的排挤关系	59
3.10	压缩过程中能量不会增值	60
3.11	密度内能出功量（密功量）和热内能的出功量 （热功量）	61
3.12	热工学中的一道例题	61
3.13	容积功	66
3.14	气体在压缩中温位升迁功的分配关系	66
3.15	热量——蜕变过程中的能量	67
3.16	以功论能和功热等量	67
3.17	初步提出气体在压缩中的“功、热俱在概念”	68
3.18	热量的抗功能力随着温度的上升而增加	69
3.19	理想气体与非理想气体	69
3.20	统计物理学忽视了理想气体层面上的内能	71
第4章	气体膨胀功的双因素原理及有关问题	72
4.1	“气体的内能仅跟温度有关”的适用范围	73
4.2	内热量的热功量	74
4.3	密度内能做功效率小于1的原理	76
4.4	气体热力膨胀的阻滞势能——欠密度阻滞势能	77
4.5	η_Q 小于 η_M 的原理	79
4.6	等压膨胀过程的欠密度阻滞势能	80
4.7	热量在压缩中趋显、在膨胀中趋隐的原理	81
4.8	单因素膨胀和双因素膨胀	82
4.9	气体温度和气体密度的共同作用	83
4.10	第二个原理体系	84
4.11	压缩与膨胀过程的“能量沉浮图”	85
第5章	第五、六、七条基本原理及其派生原理	89
5.1	第五条基本原理——气体压缩过程中的功热俱在原理	89
5.2	第六条基本原理——气体扩容降温原理（自由膨胀降温）	96

5.3	第七条基本原理——气体无阻力膨胀时的功热转化原理	96
5.4	第六、七两条基本原理的复合派生原理——气体向真空膨胀温度不变原理	97
5.5	第五、六、七条基本原理的集中显示	102
5.6	等温压缩状态储存了全部压缩功	103
5.7	公式的推导必须有物理概念的参与	104
5.8	与热现象有关过程的不可逆性原理	106
5.9	膨胀过程与压缩过程的重要区别	108
5.10	压缩过程的三方力能平衡	109
5.11	气体在自由膨胀中内能亏损在下滑性转化之中	109
5.12	“气体向真空膨胀温度不变过程”伴随在气体的“一切膨胀过程中”——属于本书第三原理体系	110
5.13	初探定压容积比热容值	111
第6章	压缩与膨胀过程中能量的初步计算	113
6.1	理想气体压缩与膨胀过程的基本计算	113
6.2	压缩过程的总热量等于总压缩功	118
6.3	等温压缩后再做绝热膨胀功的基本计算例	119
6.4	绝热过程的能量计算	121
6.5	压缩与膨胀过程中的能量计算	124
6.6	压缩过程中热量的受功量只能是温位升迁功	128
6.7	在常态下气体中热量抗功能力低下的另一种证明	129
6.8	基本热量的抗功能力——升迁功的值可以大于基本热量值	130
6.9	从气体膨胀中获得机械功的量具有低浮性	132
6.10	用实验证明大气压力跟随功的存在	133
第7章	构想中的采暖装置计算	142
7.1	构想中采暖装置模型概述	142
7.2	系统具有力能反馈功能时的能效比方程式	143
7.3	改进的方案——被压缩气体直接进入暖气包的方案	145
7.4	开口系统不能提供系数大于1的功量	153
7.5	此地借用彼地归还	153
7.6	力能反馈的意义	154
7.7	空气能热泵	156

7.8 压缩取热就是低品位热量的回收利用	157
第8章 制冷和冷热联供的计算	158
8.1 制热和制冷系数方程式	158
8.2 冷热联供能效比	166
第9章 内能密度概念及其在熵概念方面的试用	170
9.1 定压过程“比热容”与定容过程“比热容”的差值的含义	170
9.2 体系本身的熵	175
9.3 扩容容积比热容	184
9.4 气体的内能密度	187
9.5 一个十分重要的矛盾	190
9.6 内能密度概念的重要意义	193
9.7 非理想气体的内能	194
附录 A 常用公式	196
附录 B 本书中的关系式和方程式	197
附录 C 主要符号说明	200
参考文献	203

绪 论

1. 7条基本原理和3个原理体系

7条基本原理:

(1) 大气压力跟随功原理:

大气压力跟进功 $L_G = P_1(V_1 - V_2)$

大气压力跟出功 $L_C = P_1(V_2 - V_1)$

(2) 气体在压缩中热量的温位升迁功原理, 其关系式有

$$L_S = W_Y - W_D$$
$$L_{HS} = Q_0 \frac{T_2 - T_1}{T_H}$$

(3) 气体在压缩中密度内能变化的定量关系, 即

$$\Delta U_M = W_D$$

(4) 气体膨胀功的双因素原理: 气体的膨胀功有热力膨胀功 W_{QP} 和密度膨胀功 W_{MP} 两种因素, 即

$$W_{JP} = W_{MP} + W_{QP}$$

当气体既具有密度膨胀因素又具有完整的热力膨胀因素时, 绝热膨胀功的效率为

$$\eta = \eta_M + \eta_Q = 1$$

这就是热力膨胀功与密度膨胀功的效率均小于1的基本原理。

(5) 气体在压缩中的功、热俱在原理: 即

1) 热量等于压缩功的量 $Q = W_Y$ 与此同时

2) 密度内能变化量等于等温压缩功的量, 即

$$\Delta U_M = W_D$$

此时需要以功论能地求等量关系, 即

$$W_Y = \Delta U_M + L_S$$

式中: W_Y 为多变过程压缩功; ΔU_M 为体系密度内能的增加;

L_s 为热量 Q 所接受的压缩功——温位升迁功。

(6) 气体扩容时的降温原理：由于运动分子密度减小所致的降温。

(7) 气体无阻力膨胀时的功热转化原理——密度内能 U_M 直接转化为热内能 U_Q 的原理。

第 (6)、(7) 两条基本原理的综合作用即为“气体向真空膨胀温度不变”原理。

以上 7 条基本原理可归纳成为以下 3 个原理体系：

(1) 大气压力跟随功原理体系：①热效率低下的第二原理（第一原理是卡诺热效率）；②高制热系数的第一原理；③定压容积比热容等于定容容积比热容的原理。

(2) 功、热对抗原理体系：①气体在压缩中热量的温位升迁功原理；②在压缩中温升不超过 273.15°C 时，热量抗功能力低下的原理；③高制热系数第二原理；④基本热量的抗功能力随着体系温度变化而变化的原理；⑤气体在压缩中密度内能变化的定量关系。

(3) 气体具有密度势能，在“膨胀中密度势能可直接转化为热内能”的原理体系：①气体在压缩中的功热俱在原理；②气体在压缩中密度内能变化的定量关系；③气体扩容降温原理；④气体无阻力膨胀时的功、热转化原理。

③和④的综合作用是气体向真空膨胀时温度不变原理。

第 (2)、(3) 原理体系的综合作用还有：①压缩功的量由气体的温度变化和密度变化共同分享的原理；②膨胀功的量由气体的温度变化和密度变化共同分担的原理；③气体膨胀功的双因素原理——气体膨胀中的阻滞功原理（负功原理）；④内能密度概念：内能是单位容积中两种内能（热内能 U_Q 和密度内能 U_M ）的和，即

$$U = U_M + U_Q$$

2. 3 个原理体系简述

(1) “大气压力跟随功”原理体系：大气压力可以做功，但

只能伴随一种过程而做功，当对环境气体压缩时，由于大气压力的跟进而做着跟进功。相反地，当气体在汽缸中膨胀时，外界大气也在跟随受功（跟出功）。已有实验证明，压缩中电动机的功可显示在电能表上，而大气压力的功则不能。由于习惯观念，此原理难以被理解，如在 20 世纪 50 年代由苏联译进的热力学文献中，作者明确指出：在对空气进行压缩时，大气空气的功为零（而且在目前的所有热力学著作中均未明确过大气压力在跟随做功）。由于这种理解有问题，本书在第 1 章对大气压力跟随功原理有详述。

近年来，也有热力学著作提到，工质在膨胀中做的功，并不全是有用功，除了因摩擦而耗散外，还有一部分用以反抗大气压力在做功，余下的才是可利用的功。但这种提法并不是本书的全部含义，这种提法是从“水在蒸发时要克服大气压力”的感知中演化过来的，是肤浅和片面的概念，正因为它是肤浅的，就不能推导出大气压力跟进功的存在，不能成为系统的原理体系，不能运用到热力学计算中。

本书提出的“大气压力跟随功”原理，不易被真正理解的关键点在于：不能理解“大气柱跟随活塞推进而跟随做功”和“大气柱跟随活塞退出而跟随受功”。

这一原理虽然不需要高等数学来表达，但需具有十分清醒的物理思维。为了使多数人便于理解，本书竭力讲透原理及原理的来龙去脉。

(2) “功、热对抗”原理体系：既然是体系，因此在多方面都有它的表现形式。这里将压缩中的密度变化和温度变化分解开来，体系的基本（原有）热能与它接受的压缩功是对抗关系。提出此概念，为的是将一些问题明朗化。压缩中在系统温度变化不大时，热量只能以多抗少，功和热脱离了 1:1 关系，就像一群武打者被一名武打高手打得节节败退。系统升温热量传出时，就是功量的占据和热量的败退关系，热量退下或部分地退下阵来，不属于能量转化。能量转化特征是，一种能量的出现是“以另一

种能量的消亡为代价的”，而气体受压缩时，是入侵者击退原主，而且入侵者和原主均在，就像“鸠占雀巢”，鸠健在，雀也并未消失。功、热对抗原理体系是不需要由实验证明的，但需要有本书提出的“温位升迁功原理”的支持，有了这一原理，很多计算都可以具体化。“温位升迁功原理”亦具有一个理解上的关键点，即温度阶度概念。

(3) “气体在膨胀中密度内能可直接转化为热内能”的原理体系：气体扩容降温原理、气体无阻力膨胀时的功热转化原理以及气体向真空膨胀时温度不变原理。作者还估计到一个理解上的难点——在第三原理体系中提到的“气体向真空膨胀时温度不变原理”存在于气体的所有膨胀过程中——凡是与环境气体有关的过程。

如果对第一、二原理体系具有较好的理解，第三原理体系亦可以理解，也是不需要由实验证明的。

3. 本书的有关概念和定义

温度阶度概念：在这里对温度的概念应从小度转入大度，即阶度。

温度阶度定义：在定容加热中，气体温度由 0°C 升至 273.15°C 时，气体的压强变化了一个大气压，其做功能力相当于等温压缩升高一个大气压时的功量变化，所以需将温度变化 $T_2 - T_1$ 转化为以阶度 ($T_H = 273.15^{\circ}\text{C}$) 为单位的温位变化—— $\frac{T_2 - T_1}{T_H}$ 。这是以功论能的需要。

基础热量定义：基础热量即环境温度线以下的热量，是气体中的热量；压缩过程中被排挤的热量 Q_p 是基础热量的一部分。

热量与“温位升迁功”：在绝热压缩中，“基本的被排挤热量” Q_p 无法传递出去，它在接受升迁功的同时温度亦在上升，所以其中热量 Q 是被排挤热量与升迁功的和，即 $Q = Q_p + L_s$ 。热量 Q 不完全是压缩功转化而来的，只有其中的 L_s 才转化为热

量，因此系统中内热量的增量就是 L_s ，这就是开口热泵制热时为什么它的能效比大于 1 的原因之一。

温位升迁功关系式的至真原理：在经典力学中，重力是质量 m 与重力加速度 g 的积 (mg)，重力势能是重力与高度 h 的积 (mgh)。而这里提出的温位升迁功原理与重力势能十分相似。

(1) 连续压缩热量恒温输出时的温位升迁功关系式：

$$L_{HS} = Q_0 \frac{T_2 - T_1}{T_H}$$

式中： $T_2 - T_1$ 相当于将池中提起的那桶水的高度，是小于或大于 h 的高度， $\frac{T_2 - T_1}{T_H}$ 为单位的高度 (h 是由桶中水面到桶底的高度)； Q_0 相当于那桶水的重力 mg ； $Q_0 \frac{T_2 - T_1}{T_H}$ 为那桶水提升后得到的势能 mgh 。

(2) 定量压缩时输出热量的温位升迁功关系式是：

$$L_{SS} = Q_0 \frac{W_Y - W_D}{W_D}$$

以功论能定义：“以功论能”是针对气体接受的压缩功或者气体的做功能力的，本书的重要特征之一是，并不将内热量直接视为能量，内热量的做功能力是它的温位升迁功 L_s ， L_s 与密度内能变化量 ΔU_M 之和才是气体的内能变化 ΔU ，它等于全部压缩功 W ，即

$$\Delta U = L_s + \Delta U_M = W$$

只有以功论能才能正确解释压缩过程中的能量问题。

气体的内能是由压力决定的：等温压缩后系统做功能力增加，这对“气体内能仅跟温度有关”的论断提出了质疑，本书主张“气体内能是由压力决定的”，因为，仅当气体密度增加时，压力随之增加；仅当气体温度增加时，气体内能亦增加。等温压缩的气体是常温高密度气体，此时如令其逆向膨胀，膨胀终了时，系统的温度低于环境，密度高于环境，与环境达到了综合平

衡。综合平衡才是力能的真正平衡。

“密度内能”概念的提出：忽视密度内能变化的重要原因，是热力学起源于对热机的研究，蒸汽在膨胀做功时，体系与外界只有温度上的差异，而没有密度的对比（无法对比），体系的压力大于环境时，它的温度也必高于环境，而不像理想气体那样。压缩中若出现微小温升就能将多余热量传出的话（等温过程），过程中传出的热量总是等于压缩功的值，因此热力学一贯认为：系统内能仅跟温度有关。实际上如果以热论能的话，压缩后气体的本领大增——已具做功能力，此时内能增加是由密度增加引起的。从压缩后具有做功能力来看，功和热不是等价的。功、热的不等价性热力学也承认，但却不能明确地指出“内能仅跟温度有关”论断的弊病，这是热力学的自相矛盾之处。其实，热力学并非绝对不承认压缩后内能有变化，如在制冷循环特例中，有时也应用它的可逆功，然而应用仅归应用，根本不从原理上研究。本书明确了它的数量关系，力求澄清这盆浑浊的水。浑浊的实质是缺少重要的物理概念，理想气体的“密度内能”问题早就应该明确，然而未能明确，这是重大缺陷，此缺陷影响到热力学的高端——分子热力学和统计物理等，诸文献概不研究密度内能，因此热力学忽略了它的另一半。理想气体密度内能问题是简单的，然而这个简单的东西是根基，这就叫做“大道至简”。若将热力学比做一棵树，理想气体（包括密度内能）是主干，分子热力学只是枝梢。由于根基不牢，高端的东西也难以稳固。

压缩中密度内能变化的定量关系：在等温压缩中，由于温位升迁功 $L_s=0$ ，所以此时压缩功完全储存于被压缩气体中。对于这个定量关系，开始时读者可能不同意，理由是若令这仅具有密度内能的气体逆向做功时，膨胀功 W_p 小于压缩功 W_D 。但是本书坚信，这是效率问题，跟热效率一样，密度内能效率也是小于 1 的。密度内能效率小于 1 的原理是，被排挤的基本热量 Q_p 离开了体系。虽然等温压缩中被排挤热量 Q_p 没有占用压缩功的

量，但 Q_p 离开系统后，就失去了这个热量的抗功量（做功能力），使系统的膨胀仅为密度膨胀，膨胀中系统缺少了这个热量会产生一个与膨胀力相反的力（拖后腿的力），使系统的密度内能不能完全发挥作用，因此，膨胀功 W_p 小于压缩功 W_D 。

热内能和密度内能：定容加热的气体仅具有热内能变化（冷却后不再具有做功能力）；等温压缩的气体仅具有密度内能变化。两者的膨胀都是单因素膨胀。绝热压缩的气体既具有密度内能又具有热内能变化，其膨胀为双因素膨胀，此时膨胀功的效率可以达到 1（不计摩擦力）。例如，当将这种气体可逆绝热膨胀时，密度内能效率 η_M 与热内能效率 η_Q 之和可以等于 1，书中的计算已证明 $\eta = \eta_M + \eta_Q = 1$ 。

明确功、热对抗关系的意义：目前热力学只明确功、热转化关系，而不明确功和热的运送关系，因而除了少数专业人员之外，人们只知功、热转化关系，而不知功、热的对抗（运送）关系。因此在热力学中必须明确地提出功和热的对抗关系和“以功论能”概念，也就是在衡量气体的能量时，不是视其具有多少高出常温的热量，而是视其高出常态气体的压力，即包括密度内能在内的做功能力。

热量的制取和运送：功、热对抗问题所涉及的是热量的运送，在热泵中，热量被功量运送，其比例是用“能效比”来表征的，转移的热量大于功量。制冷机运送热量而制冷，热泵运送热量而制热，此时，热量就像被运送的物资。可以利用热泵，通过输入少量高品位能源（电能），实现低能位热量向高能位热量过渡和转移，也可以利用制冷机，通过输入少量电能实现将常温热量向低能位热量的过渡和转移。制热这个词专用于热泵，制冷这个词专用于制冷机，但这个制字用词不当，它适合于能量转换的场合，而不适合于运送热量的场合。

此地借用彼地归还：当将河水用水泵送上岸来，用过之后让它从下游流入河中，这就是此地借用彼地归还。这与热泵制热的情况十分类似，热泵送热也是此地借用彼地归还。

跟进功和机械压缩功一样能提供热量。但是人们会提出，既然过程中具有大气压力跟进功，终会有大气压力跟出功，有什么意义呢？然而，事实上不能笼统地看问题，因为跟出功是在被压缩气体膨胀时才会出现，气体的膨胀不是在汽缸中而是在排气管的出口。制热时，一方面，被压缩气体的放热处是利用热量之处，放热和吸热不在同一地点，热量在取暖房间借用，膨胀时由环境予以归还。另一方面，大气压力跟进功在压缩时被借用，亦在排气管的出口归还，将压缩时下降的大气柱重新推升到原位。

“以功论能”是更高层次的热力学第一定律：事物发展的规律是否定之否定规律。在气体的压缩过程中，密度内能变化与热转移量的和超出了压缩功的值，但这个事实不能动摇第一定律。我们知道，热力学第一定律是能量转化守恒定律的应用，在功转化为热的条件下，这种应用虽然也能说得通，但那只是以热论能，是用已经下滑的能量——热量来衡量能量的。在压缩过程中，必须以功论能，这是功和热在对抗中的能量守恒，即密度内能的变化与温位升迁功的和等于压缩功，即 $W = \Delta U_M + L_S$ 。

4. 本书的根据和读者的着力点

本书的原著是《压缩与膨胀热力学》^[7]一书，副书名是《热力学的另一半》，于2004年5月由中国水利水电出版社出版发行，书中提出了7条基本原理及它们的复合派生原理，共同构成了3个原理体系。

原书共10章，2003年在《中国高校教学与科研》期刊书上发表了第1、3、4、5、6、7、8、9章内容。也在中国工程热物理学会2003年年会上对第二章内容进行了宣读，并在会上散发了第1章——大气压力跟随功原理一文的复印件。

本书对新原理的叙述以通俗语言和普通数学为主，读者的着力点应该是物理概念，读者需要具有清晰的物理思维。理解的重点是3个原理体系，其中大气压力跟随功原理和温位升迁功原理是重点中的重点。