

高級中学課本物理学第二册

教学参考资料

(第四分册)



江苏人民出版社

目 录

第 十 章	物态的变化.....	(1)
第十一章	热机.....	(14)

第十章 物态的变化

一 教材研究

(一)教材系統

本章是继气体、液体和固体的性质之后,介绍物质的三态的互相转化规律与条件。是运用分子运动论的观点对物态变化的各种现象进行细致的分析,从而明确认识产生各种现象的原因,由感性认识提高到理性认识,为以后学习热机等教材作好准备。

教材以分子运动论为基础。全章以“物体内能的变化与分子聚集态的关系”为中心内容,可分为熔解和凝固、汽化和液化两个单元。在熔解和凝固单元中,着重分析了晶体的熔解和凝固现象,熔点受外部压强的影响和有关熔解热的测定与计算;在汽化和液化单元中,着重分析了汽化(蒸发和沸腾)和液化现象,饱和汽和未饱和汽的区别与两者转换的条件,露点、湿度和汽化热等的测定与计算。

(二)教学任务

1. 通过熔解和凝固、汽化和液化的讲解,使学生对物质三态的变化有一系统的全面的认识,正确掌握熔解热、汽化热、露点等测定方法,并能熟练地进行有关的计算。
2. 使学生认识自然现象由量变到质变的转化规律。
3. 通过讲述、演示和参观,使学生认识物态的变化规律在

生产技术上的应用。

(三) 重点关键

分子运动论和能量守恒定律是全章的关键, 熔解和凝固、蒸发和沸腾、熔解热和汽化热、未饱和汽和饱和汽、湿度和露点等是本章的重点。其中饱和汽压又是讲清沸腾、湿度和露点等各环节的关键。

1. 熔解热和汽化热是物态变化时能量转换中的两个重要概念, 关于熔解和凝固、汽化和液化现象, 学生通过初中物理的学习, 已有了初步认识, 这里着重从定性和定量两方面来说明物态变化过程中物质的吸热、放热和物质分子内能转化的关系。

熔解热: 晶体内部的分子是有规则排列着的, 分子间有引力, 也有斥力, 所有分子都是处于平衡而势能又是极小的状态中的, 每个分子只能在其平衡位置附近作振动, 而并不发生移动。当温度升高时, 每个分子的振动动能增大, 振幅增大, 一般物质分子间的距离也要增加, 物体的体积就逐渐膨胀。当温度升高到某一值(熔解温度)时, 分子就可以离开原有的平衡位置而发生移动, 到了这种情况, 分子的排列变乱了, 分子间的距离也增加了。分子的排列变乱和分子间的距离增加, 都使得分子的势能增加很多(至于少数物质在熔解时体积反而缩小的原因, 这是由于它们具有特殊的结构所致。一般的说, 熔解时, 物质的空间点阵同样遭到破坏, 所以无论物质在熔解时体积增大或缩小, 都要克服分子间的相互作用力而做功, 都要增加势能), 而物质的温度保持不变的, 所有分子的平均动能并不改变, 因此熔解热只能使固体熔解成同温度的液体, 也就是物质的温度保持不变, 输入的热量只增加物质的分子的相对势能; 相反的, 在凝固过程中, 分子距离减小, 分子由杂乱而成为规则的排列, 使熔解时增加的势能转变成等量的动能, 由物体的表面以辐射能的形式向空间

辐射出去，因而物质的温度也保持不变。

汽化热：在汽化过程中，分子反抗液体的内聚力而飞出液体，就必须在克服分子的引力上做一定的功，而同时在大气压强不变的条件下，液体变为汽体，体积增大好多倍，又必须反抗大气压强而对大气做功，因此液体在汽化时需要外界供给能量。因为在汽化过程中，由于蒸汽分子间的距离比液体分子间的距离增加了好多倍，所以供给的能量主要是增加它的内能（分子的相对势能），而另一小部分能量则对大气做功，因此，能够保持温度不变。也就是说，汽体分子的平均动能和液体中的分子平均动能是相等的。我们规定：1克物质由液体汽化成同温度的汽所需的热量叫做物质的汽化热。它也可明显的表达成下式：

$$L = U + A = U + P(V_2 - V_1)$$

式中 L 代表汽化热， U 代表内能的增量（因为温度保持不变，仅增加相对位置所决定的势能）， A 代表对大气所做的功， P 代表大气压强， V_1 与 V_2 分别代表在液体状态与在同温度汽体状态的比容。

由上式可将汽化热 L 表述为：分子通过液体表面时所需作的功，亦即内能的增量 U 和物质由液态变为汽态时与其比容的增大 $(V_2 - V_1)$ 所联系着的功 A 的和。

上式亦可适用于固体的熔解，但物质在固态与液态时的比容相差极小，故与其比容的增大 $(V_2 - V_1)$ 所联系着的功 A 可忽略不计，熔解热只转化为内能。

汽化热因物质的种类而异，也随温度的变化而有不同，它是温度的函数，温度越高，则汽化热越小，在临界温度时，物质的汽化热为零。这是因为：液体的体积随温度升高而膨胀，分子间的内聚力减小；又由于汽体的饱和密度变大，因此液面上汽体分子对将要飞离液面的分子的引力增加。由于以上两种原因，液体分子飞离液面所需作的功就相应地减小；在另一方面，由于液

体的比容 V_1 变大,而汽体的比容 V_2 则相对变小, V_1 与 V_2 的差减小,故与其所联系着的功也相应减小。汽化热与温度之间的一般规律,不能用简单的理论公式来表出。因此对于不同的液体,只能引出一些经验公式。例如在 0° 与 120° 之间,水与乙醚可以很近似地用下式表示:

$$\text{水 } \lambda = 596.6 - 0.601 t$$

$$\text{乙醚 } \lambda = 94.0 - 0.079 t + 0.0085 t^2$$

其中 t 表示摄氏温度。

为了避免学生计算时,仅注意温度变化时的吸热和放热,而忽略了物态不同时物质的比热不同,和物态变化时吸收的热量和放出的热量所引起的错误,教师可通过举例,引起学生注意。同时提醒学生,比热与熔解热(或汽化热)的意义不同,它们的单位亦有显著的不同。

2. 饱和汽的性质是本章的一个重点,也是讲清液化、沸腾、湿度和露点等各节的关键。讲解饱和汽时,除讲清什么是动态平衡、达到动态平衡的汽称为饱和汽及饱和汽具有一定的密度外,还须说明当温度变化时,原有的动态平衡破坏,建立起新的动态平衡,这时饱和汽的密度也随着变为另一数值。接着根据气体压强产生的原因,一定的液体的汽在一定的温度下,汽分子运动的平均速度是一定的,汽的饱和密度也具有一个相应的定值,因而在一定的温度下饱和汽压是一定的。由此得出液体的饱和汽压跟液体的种类有关,随着温度的升高而变大,并与汽所具有的空间无关的结论。这里如果只指出饱和汽不符合玻意耳——马略特定律,而不作进一步分析,会使学生的认识不全面,理解不透彻。所以在教学时应分析:当饱和汽体积改变时,就有一部分汽体液化或液体汽化,温度不变,密度不变,体积的改变,汽体质量亦随着改变,而玻意耳——马略特定律仅讨论一定质量的理想气体的等温变化,两者的条件是不同的。

3. 沸騰是汽化的一种方式，它是日常生活中、热力工程上密切有关的基本概念，是一个重点，也是一个难点。学生对液体在沸騰时饱和气压跟外部压强相等这一概念往往不易理解，可先通过实验，让学生了解液体沸騰的现象，指出沸騰与蒸发的区别。然后说明液体在沸騰过程中，首先看到玻璃瓶的底和壁上出现一些小气泡，这是瓶内壁所吸附的空气分离出来的，由于气泡周围的水向气泡里蒸发，所以气泡里除了空气外还有饱和水汽，其总压强是空气的压强 P 与饱和水汽压 Q 的和。在稳定状态下，设稳定状态的温度为 t ，这时总压强就等于外部压强 H 。

即 $P+Q=H$ 。（其中液体的压强与表面张力的附加压强忽视不计）

当温度升高到 t_2 时，原有的平衡相继被破坏，这是因为饱和汽压随温度上升而增大到 Q_1 ，气泡体积胀大到足够大时，气泡中空气压强减小到 P_1 ，使 $P_1+Q_1=H$ ，气泡中饱和汽压的增大与空气压强的减小相补偿，也就是重新达到平衡。

温度继续上升，则气泡渐渐膨胀，到最后液体温度上升到 t_k 时，蒸汽压强增大到 H ，空气压强变为 P_k ，这时 $H+P_k>H$ ，于是气泡急剧膨胀，突破液体表面，沸騰就开始了。

二 实验实习

（一）晶体和非晶体的溶解和凝固的演示实验，可以采用萘和松香来进行实验，实验方法可以参考初中物理课本。

（二）鑄造演示实验可以采用小型零件做模型。型框可用木质小盒子。錫的熔点（ 232°C ）比其他金属熔点低，可以采用錫做浇鑄金属。型砂可向有关工厂索取少量，但不能用普通砂土。这样在課堂中进行演示实验就比较方便。

（三）演示饱和汽的压强的大小与物质性质的关系的实验，

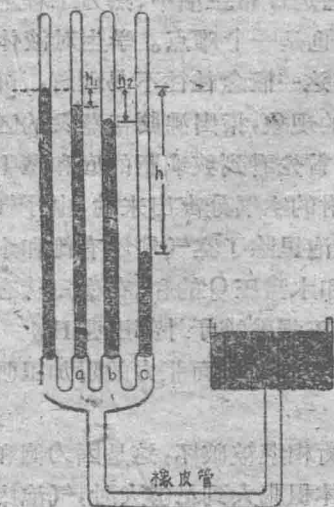


图 10-1

按照課本图 159 的装置，用移液管向长玻璃管中引入液体比较困难，容易失败。建议按图 10-1 的装置进行实验。将不同的液体分别灌入针筒内，将针筒的针头插进三根长玻璃管 a、b、c 接头处的橡皮管部分，先后注入不同物质的液体。做这个实验时要在相同的温度下，并且应注意用过的玻璃管须待完全干燥后才能再用，否则管内还含有一定量的汽，每致实验失败。同时说明长玻璃管里还有一定量的水银蒸汽，但是水银的饱和汽压很小，在 20°C 时约为 0.0013 毫米高水银柱，所以可略

去不计。关于水银柱顶部一些液体的重量亦可以略去不计，故引入液体时应注意不能过多，只要能看到水银面上有一薄层液体就可以了。

为了增加实验的显明性，可在四根玻璃管前面放一块毛玻璃，在它们的后面放一个光源，使学生在毛玻璃前面观察毛玻璃上的投影。

(四)测定汽化热的学生实验，根据課本中实验七所采用的器材进行装配（参考課本图 166）。在实验时应提醒学生注意下列几点：

1. 指出这个实验的特点，是利用蒸汽液化时放出的热量来测定汽化热的，因为蒸汽液化时放出的热量与等量的液体在同一温度下汽化时所吸收的热量相等。

2. 通蒸汽的玻璃管一定要用棉絮包扎好，但须注意安全，与酒精灯接近处，不能包棉絮。

3. 在停止加热时,不能先移去酒精灯,应先将試管B取去。否則烧瓶內水温下降,水汽压强减小,使量热器內的水倒灌入B管內,立即又倒灌入烧瓶中,实验容易失敗。

4. 烧瓶內盛水不必太多,以半瓶为宜,但亦不能过少,以免烧干。

(五)測定露点时,应注意在露珠刚出现时記一次温度,此后停止打气,待温度升高露珠消失时再記一次温度,取两个温度的平均值作为当时的露点,这样比較精确。在演示时,先将金属小筒擦亮,看到筒上略为变暗,这就表示露珠的出现。

三 参考材料

(一)注释

1. “汽”与“气”的意义:习惯上我們叫高于临界温度的气体为气,而低于临界温度的气体为汽。单独增加压强不能使气体液化,要使气体液化,首先必須使它的温度降到临界温度以下,然后再增加压强就可以使它液化。对于汽体,只須增加压强,就可使它凝結成液体。所以过临界点的恒温曲线是气与汽的分界线。

2. 課本第161頁习题第10題,应当提示学生,切不可不分析题目的条件,而硬套热平衡方程式算出混合后的温度为負值的錯誤的演算过程。和得出錯誤的結論。因为高温物体降至 0°C 所放出的热量少于低温物体升至 0°C 所需吸收的热量,所以冰不能够全部溶解。混合后的最后温度應該是 0°C 。

(二)資料

1. 压强对熔点的影响:在溶解时,大多数物体的体积膨胀,

而在凝固时缩小。只有少数物体在凝固时体积膨胀,例如铋、生铁和水。水的这种现象又特别显著,它在凝固时约增大原有体积的9%。改变物体所在处的压强,用一定的办法可以影响物体的熔解温度。熔解温度与压强的关系,可以用下式求得:

$$\Delta T = 0.242 \frac{(V_1 - V_2)}{\lambda} \Delta P$$

式中的 λ 为熔解热, T 为熔解温度, V_1 与 V_2 分别为液体与固体每克质量所占有的体积。 ΔP 为压强的变化, ΔT 为相应的温度的变化。

若 $V_1 > V_2$, 当压强增加时, ΔT 为正, 即表示熔解温度因压强的增加而增加。若 $V_1 < V_2$, 当压强增加时, ΔT 为负, 即表示熔解温度因压强的增加而降低。对于冰来说, 所受的压强每增加 1 个大气压, 从实验和计算均可得出它的熔点就下降 0.0075°C 。

2. 物质的临界状态: 学生对临界值的理解往往感到比较困难, 这里作一简要的分析。以 1 克分子的 CO_2 的一系等温线 (图 10—2(甲)) 为例, 如取其在 20°C 时的等温线来看 (图 10—2(乙)), 从压强很小, 体积很大的 C 点开始, 逐渐增加压强, 体积逐渐缩小, 状态沿曲线的 CN 部分进行, 略与理想气体相近似。当压强增至 P_c 时, CO_2 的体积为 V_c , 此后虽不增加压强, 但体积继续减小, CO_2 逐渐液化, 到达 M 点, 体积缩成 V_l , CO_2 已全部液化; 此后再要使体积减小, 必须急剧增加压强, 这说明液体的不易压缩性。曲线的水平部分表示汽液共存状态。从图 10—2(甲) 可知温度逐渐升高, 相应的等温线水平部分越短, 即 V_c/V_l 相距越近, 它意味着物体液态和汽态的物理性质 (如密度) 差别越小。当温度升高到特定值 T_c 时, 水平部分缩为一点 K, 称为临界点, 它所代表的状态称临界状态。这时的温度称临界温度, 亦可定义为该气体可被液化的最高温度。K 点的压强称临界压强, 它表示液体的最大饱和蒸汽压; K 点的体积称临界体积, 因其随物

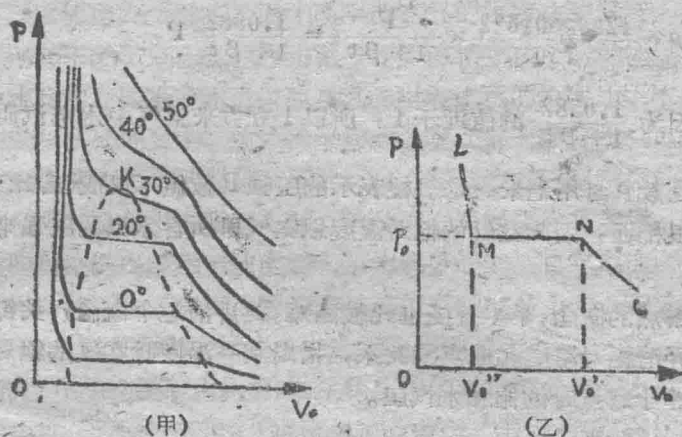


图 10-2

质的质量而定，故常以比容代之，称临界比容，为各温度下液体比容的最大值。不同物质有不同的临界值。

3. 空气中的湿度的量度方法有两种：一种是用单位体积的空气（连水蒸汽在内）中实际所含有水蒸汽的质量去量度，这叫做绝对湿度，通常以 1 立方米的空气内所含水蒸汽的克数来表示；另一种是以实际含有水蒸汽的密度 ρ_1 （每 1 立方米空气中实际含有的水蒸汽量）与在同温度时饱和水蒸汽密度 ρ_2 的比 ρ_1/ρ_2 来表示。

每 1 立方米干燥空气的质量，在标准状态（ 0°C 一个大气压强）下为 1293 克，若温度升到 $t^\circ\text{C}$ 压强变为 H 毫米水银柱高时，则密度变为 ρ' ，

$$\frac{P}{\rho T} = \frac{P'}{\rho' T'}, \quad \therefore \rho' = \frac{1293 \times H}{760(1 + \beta t)}.$$

因为水蒸汽的密度与空气的密度之比为 0.622，式中 β 可以认为等于 $\frac{1}{273} = 0.00366$ ，故在压强为 P ，温度为 t 时，水蒸汽的

$$\text{密度 } \rho = \frac{1293 \times 0.622}{760} \times \frac{P}{1 + \beta t} = \frac{1.0582}{1 + \beta t} P。$$

因为 $\frac{1.0582}{1 + \beta t}$ 的值近于 1，所以 1 立方米空气中水蒸汽质量的克数 ρ 与用毫米高水银柱表示的压强 P 数值不仅成正比，而且很相近，因此空气的绝对湿度以空气里所含水汽的压强来表示。

露点的概念，学生接受也比较困难，要讲清这个概念，关键在于弄清绝对湿度和露点的关系，指出某一温度时空气的绝对湿度等于露点时的饱和水汽压。

4. 露、霜、雾、雨、云、雹和雪的成因：

露和霜的形成：在夜晚，地面上草、木、石块等固体由于辐射热量，它们的温度下降速度快于空气温度的下降。当草木等降到某一温度而使其附近的空气达到露点，则有水凝结于草木石块等物体上，这时凝结的为露。如果露点低于 0°C ，则水蒸汽直接凝成霜。所以露和霜并非由天空下降，而是直接凝结在地面物体上的。人们常有这样的经验，有风或有云的夜间便不会有露和霜。有风所以不能有露和霜，是由于地面空气中的水蒸汽不易达到饱和。有云所以不能有露和霜，是由于地面辐射出去的热量又被云辐射到地面，地面的温度不易达到露点。

雾、云和雨的形成：如果空间不仅地面固体的温度降到露点以下，即在离地面稍远的空气的温度也降到露点，则水蒸汽便凝结在尘埃上而成雾，汽分子间寻常本有引力，如另有他种引力附加在寻常引力之上，则可使蒸汽更易凝结。空气中常存在有带电的尘埃微粒，它的电引力作用于水蒸汽而促使水蒸汽凝结，所以带电的尘埃常作为凝结液点的核心。在某种情况下，空气的高层也可降到露点以下，水蒸汽便凝成云，较大的便是水滴，落下而形成下雨。

雪的形成：雪花是由于高空的空氣的温度达到露点，并且露点低于 0°C ，則水蒸汽便由凝华作用直接形成片狀的冰晶。这种冰晶的周围都有水汽，而且冰晶附近水汽的浓度比距冰晶某一段距离处的要小。这是因为在冰晶附近有一部分水汽已经转移到冰晶上去了的緣故。因此，可以根据冰晶周围水汽的不同浓度分別描繪出若干同心圓。这种同心圓圈距冰晶越远，則在該圓圈范围内的水汽浓度越大。水汽分子就要自水汽浓度大的地方转移到水汽浓度小的地方，即转移到冰晶上去。在这种情况下，水汽首先在冰片的各个角尖上凝結起来，经过一段時間之后，冰片即成星形。此后，在星狀冰体的突出部分产生水汽的凝华现象，于是各个再增长成鋸齒形，这时冰晶就形成雪花。雪花经过碰撞而互相結合形成雪片。

雹的形成：雹都出现在夏季。夏季由地面到高空的温度相差很大，形成几个区域。在高空的空氣温度如果到达露点且低于 0°C ，于是水汽强烈凝华，形成冰晶或雪花。这些冰晶或雪花由云的頂部下降到包含有大量微小的过冷却水滴的区域，这时，这些过冷却的小水滴便开始在冰晶、雪花上面杂乱无章地凝聚凝結起来形成冰粒。冰粒继续下降，降到空气对流非常强烈的云层中，而遇到强烈的上升气流。冰粒碰到强烈的上升气流时，便被抬高到冰晶和雪花占优势的云的頂部。冰粒上升到这里之后，极小的冰晶、雪花便附着于它的表面上，形成不透明的冰壳，于是冰粒的尺度增大，变成冰雹。这些冰雹再下落到有大量的过冷却水滴的区域，这时它的周围又被包上一层透明的冰壳。然后，它可能再被向上气流抬升。这种上升下降的过程可能反复地进行几次，它的体积就会增长到很大的尺度。如果將雹切割开来加以研究，可以看到它有一个无光泽的白色核心，核外包着若干透明的和不透明的冰层，这也证实了雹的形成过程。冰雹最常见的形状是球狀。

5. 物质五态：我们的生产和生活，都是在地球表面附近进行的，我们碰到的物质几乎都是以固、液、气三态之一而存在的。由于近代天体物理学的研究，知道庞大星球系统的绝大多数物质都是以“等离子区”的状态存在的。只有在昏暗的天体（如行星）里才有固、液、气三态，因此将等离子区命名为物质第四态。它是气态分子、阳离子、自由电子的混合物。在地球上，它们存在于放电管中，热核反应所生的近百万度的高温气体，实际上也是以等离子区状态存在的。近年来有些科学家建议在几十万、几百万个大气压下的固体，称为超固态，作为物质第五态，因为它们具有和普通固态不同的特征，这是正在研究发展中的课题，还未作出最后结论。

(三)索引

1. “物态的变化”的教学《物理通报》1958年5月号第286页。

2. “物质的临界态的观察”《物理通报》1956年4月号第249—251页。

3. “空气的绝对湿度和露点时的饱和水汽压强”《物理通报》1958年3月号第152—153页。

4. 我如何进行“空气的湿度”的教学《物理通报》1958年4月号第225—226页。

四 参 考 题

1. 50克 0°C 的冰与50克 40°C 的水混合后，问最后的温度是多少？又在最后的温度下水和冰的质量各为若干克？

2. 先将烧瓶内的水煮沸，然后移去火焰并闭塞瓶口，如果将瓶子倒转，并在瓶底上放置一些雪或浇以冷水，那末瓶中的水

会发生什么现象?为什么?

3. 在一个有活塞的密闭容器内盛有饱和水汽与少量的水。(1) 若温度不变,慢慢地推进活塞,容器内发生什么变化?压强怎样?(2) 若温度不变,慢慢地将活塞拉高,容器内发生什么变化?压强怎样?(3) 若不移动活塞而将容器放在沸水中,容器内发生什么变化?压强怎样?

4. 如果用火油炉加热质量为 100 克、温度是 -20°C 的冰,使其变成 150°C 的过热蒸汽(蒸汽的比热是 0.4 卡/克·度),容器的热容量是 20 卡/度,火油炉的效率是 40%,火油的燃烧值是 10000 卡/克。需用多少火油?

5. 某日气象台广播,白天最高温度是 0°C ,相对湿度为 70%,夜间最低温度为 -5°C 。那末,这天夜里会不会出现霜冻?

6. 雾天空气中的湿度是多少?

7. 在接近零度气温下,用一根细绳跨过一个冰块,在绳的下端悬挂一重物(图 10-3)。会产生什么现象?为什么?

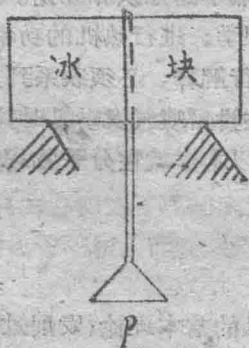


图 10-3

第十一章 热机

教材研究

(一) 教材系統

本章内容首先概括地介绍了热机的分类、主要组成部分和它的效率,接着分别讲解了蒸汽机、蒸汽轮机、内燃机、燃气轮机以及喷气发动机。讲述的次序是按照热机的发展和改进排列的,所以本章的系统性很强。

本章作为热学的最后的一部分,是因为讲解热机必须联系到力学、分子物理学和热学的知识和理论。如讲到气体膨胀做功,就必须联系分子物理学;进行热机的功率和效率的计算,以及对热机的工作原理进行解释,必须联系到热和功的计算以及能的转变和守恒定律;在讲解喷气发动机时,又必须涉及反冲运动、动量守恒定律。所以本章放在分子物理学与热学的最后一章是十分恰当的。

(二) 教学任务

1. 使学生理解热机的基本理论、发展过程、提高效率的方法以及热机的发展方向。
2. 使学生对蒸汽机、蒸汽轮机、内燃机、燃气轮机、喷气发动机等各种热机的工作原理、构造和作用有一定程度的理解。
3. 通过教具、模型的演示以及条件许可下的工厂、农场的

参观訪問，使学生懂得一些热机的基本操作方法。

4. 通过教材和有关資料，使学生认识到在党的领导下，祖国在热机生产技术方面的伟大成就，以及热机生产在祖国社会主义建設事业中的重要意义。

(三)重点关键

本章的重点是各种热机的基本工作原理和提高热机效率的基本理论。本章的关键是理解和应用能的转变和能量守恒定律。在讲解本章教材时应充分利用挂图、模型、实物等直观教具，同时还应多运用对比、列表等方式，使学生对各种热机在原理上、构造上的异同点及优缺点有清楚的认识。

本章可以9課时授完，另外，在条件許可的情况下，可组织一次工厂参观或农场訪問。

二 参考材料

(一)注释

1. 在不改变鍋炉的汽鍋容积的条件下，增加火管的数目，能够使汽鍋的受热面积扩大，用下面的方法可以证明。

設汽鍋A、B同由容积为V而长度为l的圓筒所制成，在A內装入半径为R的火管一根，而在B內則装入半径为R'的火管两根(图11-1)。

如果两汽鍋的容量相等， $V = \pi R^2 l = V = 2 \pi R'^2 l$ ，
则 $V = \pi R^2 l = V = 2 \pi R'^2 l$ ，
即 $\pi R^2 l = 2 \pi R'^2 l$ ，
两边同时除以 πl ，得 $R^2 = 2 R'^2$ ，
取平方根，得 $R = \sqrt{2} R'$ (1)

設 S_A 、 S_B 分別代表汽鍋A、B的受热面，