

## 1 章 基本概念及定义

1. 闭口系与外界无物质交换，系统内质量将保持恒定，那么，系统内质量保持恒定的热力系一定是闭口系统吗？答：否。当一个控制质量的质量入流率与质量出流率相等时(如稳态稳流系统)，系统内的质量将保持恒定不变。

2. 有人认为，开口系统中系统与外界有物质交换，而物质又与能量不可分割，所以开口系不可能是绝热系。这种观点对不对，为什么？答：不对。“绝热系”指的是过程中与外界无热量交换的系统。热量是指过程中系统与外界间以热的方式交换的能量，是过程量，过程一旦结束就无所谓“热量”。物质并不“拥有”热量。一个系统能否绝热与其边界是否对物质流开放无关。

3•平衡状态与稳定状态有何区别和联系，平衡状态与均匀状态有何区别和联系？

答：“平衡状态”与“稳定状态”的概念均指系统的状态不随时间而变化，这是它们的共同点；但平衡状态要求的是在没有外界作用下保持不变；而平衡状态则一般指在外界作用下保持不变，这是它们的区别所在。

4•倘使容器中气体的压力没有改变，试问安装在该容器上的压力表的读数会改变吗？在绝对压力计算公式

$$P = P_b + P_e = (P - P_b) + P_b; \quad P = P_b + P_v = (P - P_b) + P_b$$

中，当地大气压是否必定是环境大气压？

答：可能会的。因为压力表上的读数为表压力，是工质真实压力与环境介质压力之差。环境介质压力，譬如大气压力，是地面以上空气柱的重量所造成的，它随着各地的纬度、高度和气候条件不同而有所变化，因此，即使工质的绝对压力不变，表压力和真空度仍有可能变化。“当地大气压”并非就是环境大气压。准确地说，计算式中的  $P_b$  应是“当地环境介质”的压力，而不是随便任何其它意义上的“大气压力”，或被视为不变的“环境大气压力”。

5•温度计测温的基本原理是什么？

答：温度计对温度的测量建立在热力学第零定律原理之上。它利用了“温度是相互热平衡的系统所具有的一种同一热力性质”，这一性质就是“温度”的概念。

6. 经验温标的缺点是什么？为什么？

答：由选定的任意一种测温物质的某种物理性质，采用任意一种温度标定规则所得到的温标称为经验温标。由于经验温标依赖于测温物质的性质，当选用不同测温物质制作温度计、采用不同的物理性质作为温度的标志来测量温度时，除选定的基准点外，在其它温度上，不同的温度计对同一温度可能会给出不同测定值（尽管差值可能是微小的），因而任何一种经验温标都不能作为度量温度的标准。这便是经验温标的根本缺点。

7. 促使系统状态变化的原因是什么？举例说明。

答：分两种不同情况：

(1)若系统原本不处于平衡状态，系统内各部分间存在着不平衡势差，则在不平衡势差的作用下，各个部分发生相互作用，系统的状态将发生变化。例，将一块烧热了的铁扔进一盆水中，对于水和该铁块构成的系统说来，由于水和铁块之间存在着温度差别，起初系统处于热不平衡的状态。这种情况下，无需外界给予系统任何作用，系统也会因铁块对水放出热量而发生状态变化：铁块的温度逐渐降低，水的温度逐渐升高，最终系统从热不平衡的状态过渡到一种新的热平衡状态；

(2)若系统原处于平衡状态，则只有在外界的作用下（做功或传热）系统的状态才会发生变。

8. 图 1-16a、b 所示容器为刚性容器：(1)将容器分成两部分。一部分气体，一部分抽成真空，中间是隔板。若突然抽去隔板，气体（系统）否做功？

(2)设真空部分装有许多隔板，每抽去一块隔板让气体先恢复平衡再抽去块，问气体（系统）是否做功？

(3)上述两种情况从初态变化到终态，其过程是否都可在 P-V 图上表示？

答：(1)；受刚性容器的约束，气体与外界间无任何力的作用，气体（系统）不对外界做功；

(2)b 情况下系统也与外界无力的作用，因此系统不对外界做功；

(3)a 中所示的情况为气体向真空膨胀（自由膨胀）的过程，是典型的不可逆过程。过程中气体不可能处于平衡状态，因此该过程不能在 P-v 图上示出；b 中的情况与 a 有所不同，若隔板数量足够多，每当抽去一块隔板时，气体只作极微小的膨胀，因而可认为过程中气体始终处在一种无限接近平衡的状态中，即气体经历的是一种准静过程，这种过程可以在 P-v 图上用实线表示出来。



装是  
一

(b)  
图 1-16 思考题 8 附图

9. 经历一个不可逆过程后，系统能否恢复原来状态？包括系统和外界整个系统能否恢复原来状态？

答：所谓过程不可逆，是指一并完成该过程的逆过程后，系统和它的外界不可能同时恢复到他们的原来状态，并非简单地指系统不可能回复到原态。同理，系统经历正、逆过程后恢复到了原态也并不意味着过程是可逆的；过程是否可逆，还得看与之发生过相互作用的所有外界是否也全都回复到了原来的状态，没有遗留下任何变化。原则上说来经历一个不可逆过程后系统是可能恢复到原来状态的，只是包括系统和外界在内的整个系统则一定不能恢复原来状态。

10•系统经历一可逆正向循环及其逆向可逆循环后，系统和外界有什么变化？若上述正向及逆向循环中有不可逆因素，则系统及外界有什么变化？

答：系统完成一个循环后接着又完成其逆向循环时，无论循环可逆与否，系统的状态都不会有什么变化。根据可逆的概念，当系统完成可逆过程（包括循环）后接着又完成其逆向过程时，与之发生相互作用的外界也应-----回复到原来的状态，不遗留下任何变化；若循环中存在着不可逆因素，系统完成的是不可逆循环时，虽然系统回复到原来状态，但在外界一定会遗留下某种永远无法复原的变化。

11. 工质及气缸、活塞组成的系统经循环后，系统输出的功中是否要减去活塞排斥大气功才是有用功？

答：不需要。由于活塞也包含在系统内，既然系统完成的是循环过程，从总的结果看来活塞并未改变其位置，实际上不存在排斥大气的作用。

1 •热力学能就是热量吗？

答：不是。热力学能是工质的状态参数，是工质的性质，是工质内部储存能量，是与状态变化 过程无关的物理量。热量是工质状态发生变化时通过系统边界传递的热能，其大小与变化过程有关，热量不是状态参数。

2 •若在研究飞机发动机中工质的能量转换规律时把参考坐标建在飞机上，工质的总能中是否 包括外部储存能？在以氢、氧为燃料的电池系统中系统的热力学能是否应包括氢和氧的化学 能？

答：无论参考坐标建立在何处，工质的总能中始终包括外部储存能，只不过参考坐标建立合适， 工质的宏观动能、宏观势能的值等于零，便于计算。

氢氧燃料电池中化学能变化是主要的能量变化，因而不可忽略。

3•能否由基本能量方程式得出功、热量和热力学能是相同性质的参数的结论？

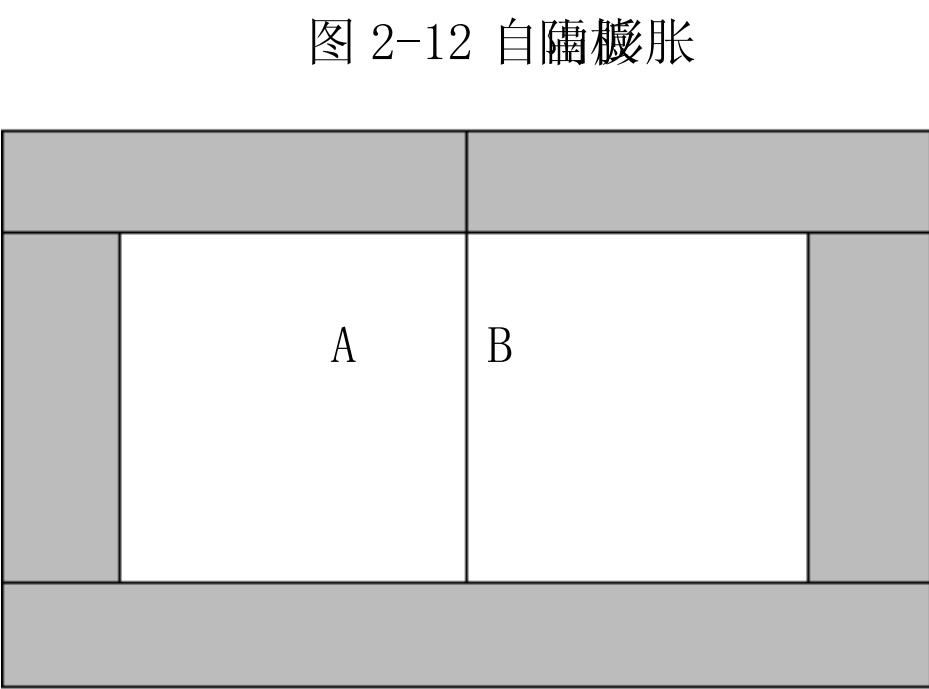
$q= u + w$

不能。基本能量方程式仅仅说明且充分说明功、热量和热力学能都是能量，都是能量存在 的一种形式，在能量的数量上它们是有等价关系的。而不涉及功、热量和热力学能的其他属性， 也表明功、热量和热力学能的其他属性与能量本质无关。

4. 一刚性容器，中间用绝热隔板分为两部分， A 中存有高压空

气，B 中保持真空，如图 2-12 所示。若将隔板抽去，分析容器 中空气的热力学能将如何变化？若在隔板上有一小孔， 气体泄漏入 B 中，分析 A、B 两部分压力相同时 A、B 两部分气体热力学能 如何变化？

答：  $q= u + w$  ，  $q=0$  ，  $u$  为负值( $u$  减少)，转化为气体的动 能，动能在 B 中经内部摩擦耗散为热能被气体重新吸收， 热力学 能增加，最终  $u=0$  。



5. 热力学第一定律的能量方程式是否可写成下列形式？为什 么？

$q= u+pv$

$q*q_i=(u_2-u_1)+(W_2-w_1)$

不可以。 $w$  不可能等于  $pv$ ， $w$ 是过程量， $pv$  则是状态参数。 $q$  和  $w$  都是过程量，所以不会有  $q_2-q_1$ 和  $wrW_i$ 。

6. 热力学第一定律解析式有时写成下列两者形式：

$q= u + w$   $q = u + p dv$

分别讨论上述两式的适用范围。

前者适用于任意系统、任意工质和任意过程。

后者适用于任意系统、任意工质和可逆过程。

7. 为什么推动功出现在开口系能量方程中，而不出现在闭口系能量方程式中？

$w$  拆开,  $w = w + (pv)$  )。 ----- 占位能

8•焓是工质流入（或流出）开口系时传递入（或传递出）系统的总能量，那么闭口系工质有 没有焓值？

比较正规的答案是，作为工质的状态参数，闭口系工质也有焓值，但是由于工质不流动， 所以其焓值没有什么意义。

焓=热力学能+占位能

9 •气体流入真空容器，是否需要推动功？

推动功的定义为，工质在流动时，推动它下游工质时所作的功。下游无工质，故不需要推 动功。利用开口系统的一般能量方程式推导的最终结果也是如此。

10. 稳定流动能量方程式（2-21）是否可应用于像活塞式压气机这样的机械稳定工况运行的能 量分析？为什么？

可以。热力系统的选取有很大的自由度。 一般把活塞式压气机取为闭口系统， 是考察其一个冲程内的热力变化过程。如果考虑一段时间内活塞式压气机的工作状况和能量转换情况， 就 需要把它当成稳定流动系统处理，包括进排气都认为是连续的。

11 •为什么稳定流动开口系内不同部分工质的比热力学能、 比焓、比熵等都会改变，而整个系 统的  $U=0$  、  $H=0$  、  $S_{cv}=0$ ？

控制体的  $U_{cv}=0$  、  $H=0$  、  $S_{cv}=0$  是指过程进行时间前后的变化值，稳定流动系统在不 同时间内各点的状态参数都不发生变化，所以  $U=0$  、  $H=0$  、  $S_{cv}=0$  稳定流动开口系内不 同部分工质的比热力学能、比焓、比熵等的改变仅仅是依坐标的改变。

12. 开口系实施稳定流动过程，是否同时满足下列三式：

$$Q=dU+ W \quad Q=dH+ \quad W \quad Q=dH+ \frac{d}{2} c_2^2+mgdz+ W$$

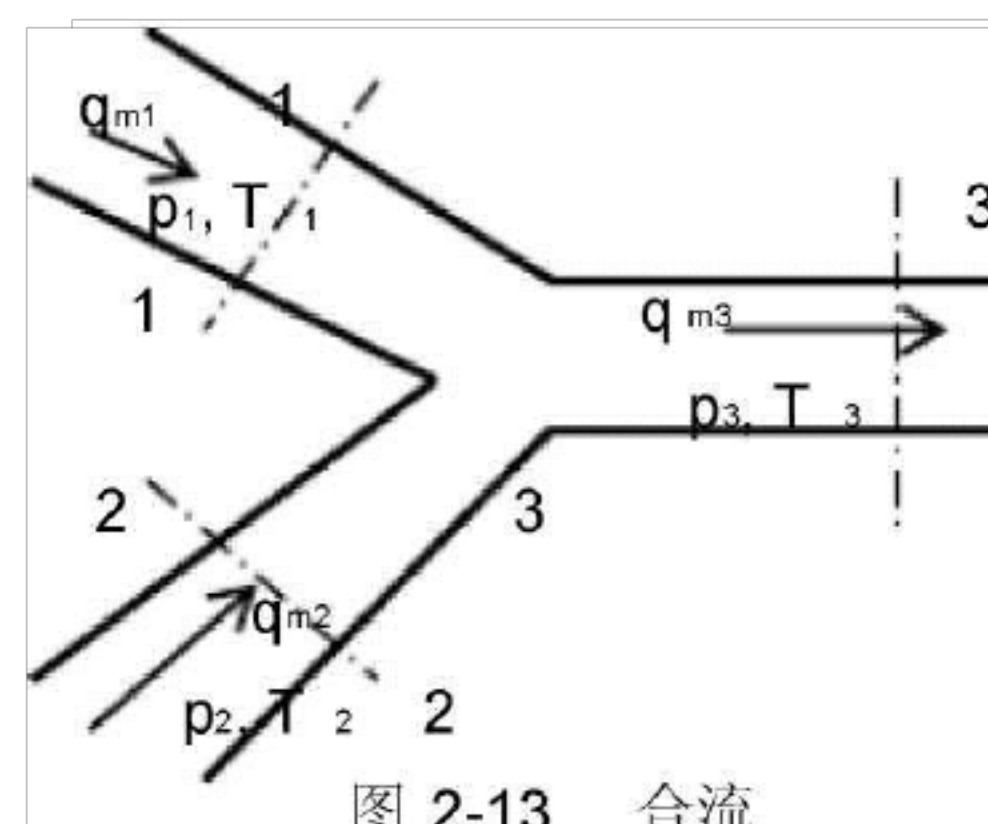
上述三式中， $W$  曲口  $W$  的相互关系是什么？

答：都满足。

$$W=d(pV) + \frac{d}{2} (pV) + \frac{d}{2} c_2^2+mgdz+ W$$

$$\frac{m}{2} \frac{d}{2} c_2^2+mgdz+ W$$

13. 几股流体汇合成一股流体称为合流，如图 2-13 所示。工程上几台压气机同时向主气道送气以及混合式换热器等 都有合流的问题。通常合流过程都是绝热的。取 1-1、2-2 和 3-3 截面之间的空间为控制体积，列出能量方程式并导 出出口



$h_a$  的计算式。

答：进入系统的能量-离开系统的能量 = 系统贮存能量的变化 系统贮存能量的变化：不变。

进入系统的能量： $q_{mi}$  带入的和  $q_{m2}$  带入的。没有热量输入。

$$q_{mi} \left( h_i + C_{fi} \sqrt{2} + gz_1 \right) + q_{m2} \left( h_2 + C_{f2} \sqrt{2} + gz_2 \right)$$

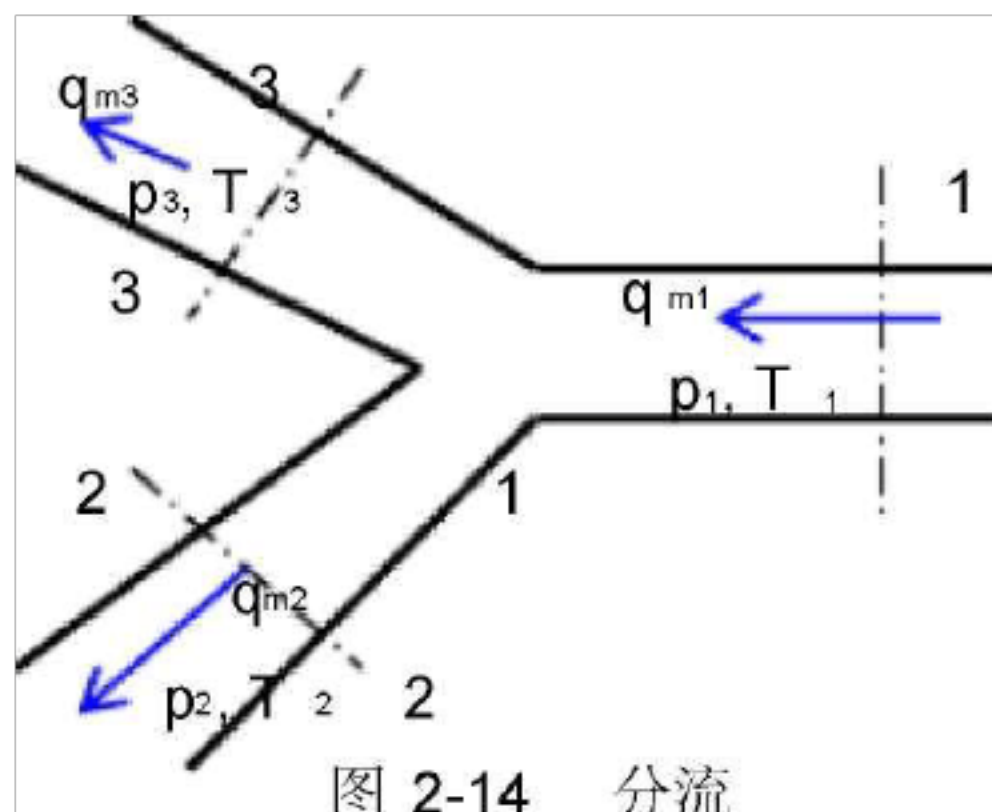
离开系统的能量： $q_{m3}$  带出的，没有机械能(轴功)输出

$$q_{m3} \left( h_3 + C_{f3} \sqrt{2} + gz_3 \right)$$

如果合流前后流速变化不太大，且势能变化一般可以忽略，则能量方程为：

$$q_{mi} h_1 + q_{m2} h_2 = q_{m3} h_3$$

出口截面上焓值  $h_3$  的计算式



$$h_3 = (q_{mi} h_1 + q_{m2} h_2) / q_{m3}$$

本题中，如果流体反向流动就是分流问题，分流与合流问题的能量方程式是一样的，一般习惯前后反过来写。

$$q_{mi} h_i = q_{m2} h_2 + q_{m3} h_3$$

### 第三章气体和蒸汽的性质

1 • 怎样正确看待“理想气体”这个概念？在进行实际计算时如何决定是否可采用理想气体的一些公式？  
第一个问题很含混，关于“理想气体”可以说很多。可以说理想气体的定义：理想气体，是一种假想的实际上不存在的气体，其分子是一些弹性的、不占体积的质点，分子间无相互作用力。也可以说，理想气体是实际气体的压力趋近于零时极限状况。还可以讨论什么情况下，把气体按照理想气体处理，这已经是后一个问题了。后一个问题，当气体距离液态比较远时(此时分子间的距离相对于分子的大小非常大)，气体的性质与理想气体相去不远，可以当作理想气体。理想气体是实际气体在低压高温时的抽象。

2 • 气体的摩尔体积  $V_m$  是否因气体的种类而异？是否因所处状态不同而异？任何气体在任意状态下摩尔体积是否都是 mol？

$V_m$  不因气体的种类而异。所处状态发生变化，气体的摩尔体积也随之发生变化。任何气体在标准状态 ( $p=101325\text{Pa}$   $T=$  ) 下摩尔体积是  $\text{mol}$ 。在其它状态下，摩尔体积将发生变化。

3 • 摩尔气体常数  $R$  值是否随气体的种类而不同或状态不同而异？

摩尔气体常数  $R$  是基本物理常数，它与气体的种类、状态等均无关。

4 • 如果某种工质的状态方程式为  $pv=RT$ ，这种工质的比热容、热力学能、焓都仅仅是温度的函数吗？  
是的。

5 • 对于确定的一种理想气体， $C_p - c_v$  是否等于定值？ $c_p/c_v$  是否为定值？ $C_p - 6$ 、 $c_p/c_v$  是否随温度变化？  
 $C_p - C_v = R$ ，等于定值，不随温度变化。 $c_p/c_v$  不是定值，将随温度发生变化。

6 • 迈耶公式  $c_p - c_v = R$  是否适用于动力工程中应用的高压水蒸气？是否适用于地球大气中的水蒸气？  
不适用于前者，一定条件下近似地适用于后者。

7. 气体有两个独立的参数， $u$  (或  $h$ ) 可以表示为  $p$  和  $v$  的函数，即  $u=f(p, v)$  但又曾得出结论，理想气体的热力学能 (或焓) 只取决于温度，这两点是否矛盾？为什么？

不矛盾。 $pv=RT$ 。热力学能 (或焓) 与温度已经相当于一个状态参数，他们都可以表示为独立参数  $p$  和  $v$  的函数。

8. 为什么工质的热力学能、焓和熵为零的基准可以任选，所有情况下工质的热力学能、焓和熵为零的基准都可以任选？理想气体的热力学能或焓的参照状态通常选定哪个或哪些个状态参数值？对理想气体的熵又如何？

我们经常关注的是工质的热力学能、焓和熵的变化量，热力学能、焓和熵的绝对量对变化量没有影响，所以可以任选工质的热力学能、焓和熵为零的基准。所有情况下工质的热力学能、焓和熵为零的基准都可以任选？不那么绝对，但是在工程热力学范围内，可以这么说。工质的热力学能、焓和熵的绝对零点均为绝对零度 ( $0\text{K}$ )，但是目前物理学研究成果表明，即使绝对零度，工质的热力学能、焓和熵也不准确为零，在绝对零度，物质仍有零点能，由海森堡测不准关系确定。(热力学第三定律可以表述为，绝对零度可以无限接近，但永远不可能达到。)

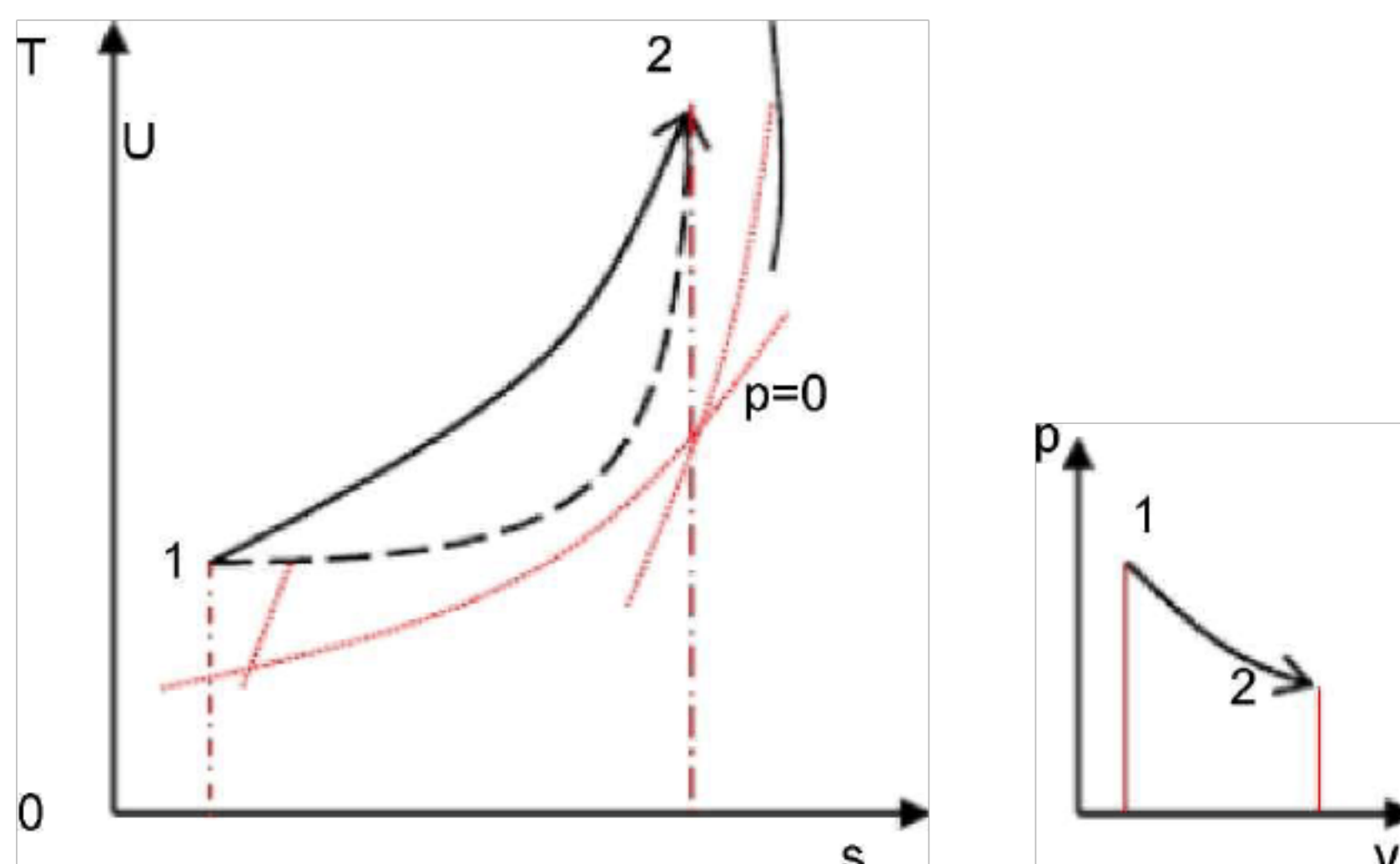
标准状态 ( $p=101325\text{Pa}$   $T=$  )。 ( $p=101325\text{Pa}$   $T=$  )、 ( $p=101325\text{Pa}$   $T=$  )，水的三相点，等等。

9. 气体热力性质表中的  $u$ 、 $h$  及  $s_0$  的基准是什么状态？

标准状态

10. 在图 3-15 所示的  $T-s$  图上任意可逆过程 1-2 的热量如何表示？理想气体 1 和 2 状态间热力学能变化量、焓变化量能否在图上用面积表示？若 1-2 经过的是不可逆过程又如何？

曲线 1-2 下的曲边梯形面积就是任意可逆过程 1-2 的热量。 $dQ=TdS$  沿过程的积分  $Q=U+W$  所以  $U=Q-W$  不可逆过程传热量不能用曲边梯形面积表达，但是热力学能和焓还



11 •理想气体熵变计算式（ 3-39 ）、（ 3-41 ）、（ 3-43 ）等是由可逆过程导出，这些计算式是 否可以用于不可逆过程初、终态的熵变？为什么？

可以。熵是状态参数，其变化与过程路径无关。

12 •熵的数学定义式为  $ds=dq/T$ ，又  $dq=cdT$ ，故  $ds=(cdT)/T$ 。因理想气体的比热容是温度的 单值函数，所以理想气体的熵也是温度的单值函数，这一结论是否正确？若不正确，错在何处？

不正确。错在  $c$  不是状态参数，与过程有关。是温度单值函数的是定过程比热。

13 •试判断下列各说法是否正确：

（1）气体吸热后熵一定增大；（2）气体吸热后温度一定升高；（3）气体吸热后热力学 能一定增加；（4）气体膨胀时一定对外做功；（5）气体压缩时一定耗功。

（1）正确；（2）不正确；（3）不正确；（4）正确；（5）正确。

14 •氮、氧、氨这样的工质是否和水一样也有饱和状态的概念，也存在临界状态？

是的。几乎所有的纯物质（非混合物）都有饱和状态的概念，也存在临界状态。此外的物 质性质更为复杂。

15 •水的三相点的状态参数是不是唯一确定的？三相点与临界点有什么差异？

水的三相点的状态参数是唯一确定的，这一点由吉布斯相律确认：对于多元（如  $k$  个组元）多相（如  $f$  个相）无化学反应的热力系，其独立参数，即自由度  $n = k - f + 2$  三相点：  $k = 1, f = 3$ ，故  $n = 0$ 。

三相点是三相共存点，在该点发生的相变都具有相变潜热。临界点两相归一，差别消失， 相变是连续相变，没有相变潜热。三相点各相保持各自的物性参数没有巨大的变化， 临界点的物性参数会产生巨大的峰值变化。三相点和临界点是蒸汽压曲线的两个端点。三相点容易实现， 临界点不容易实现。

16. 水的汽化潜热是否是常数？有什么变化规律？

水的汽化潜热不是常数，三相点汽化潜热最大，随着温度和压力的提高汽化潜热逐渐缩小，临界点处汽化潜热等于零。

17•水在定压汽化过程中，温度保持不变，因此，根据  $q = u + w$ ，有人认为过程中的热量等于膨胀功，即  $q = w$ ，对不对？为什么？

不对。  $u = a \cdot T$  是对单相理想气体而言的。水既不是理想气体，汽化又不是单相变化，所以  $q = w$  的结论是错的。

18•有人根据热力学第一定律解析式  $q = dh - v dp$  和比热容的定义  $c = \frac{dh}{dT}$ ，所以认为

$h_p = C_p \cdot T$  是普遍适用于一切工质的。进而推论得出水定压汽化时，温度不变，因此其焓变

量  $h_p = C_p \cdot T = 0$  这一推论错误在哪里？

$C = \frac{dh}{dT}$  是针对单相工质的，不适用于相变过程。

## 第四章气体和蒸汽的基本热力过程

1•试以理想气体的定温过程为例，归纳气体的热力过程要解决的问题及使用方法。

要解决的问题：揭示过程中状态参数的变化规律，揭示热能与机械能之间的转换情况，找出其内在规律及影响转化的因素。在一定工质热力性质的基本条件下，研究外界条件对能量转换的影响，从而加以利用。

使用的方法：分析典型的过程。分析理想气体的定值的可逆过程，即过程进行时限定某一参数不发生变化。

分析步骤

- 1) 建立过程方程式；
- 2) 找出（基本）状态参数的变化规律，确定不同状态下参数之间的关系；
- 3) 求出能量参数的变化（过程功、技术功、热力学能、焓、熵、传热量等等）；
- 4) 画出过程变化曲线（在  $T-s$  图、 $p-v$  图上）。

2•对于理想气体的任何一种过程，下列两组公式是否都适用？

$u = C_v (t_2 - t_1)$ ， $h = C_p (t_2 - t_1)$ ； $q = u = C_v (t_2 - t_1)$ ， $q = h = C_p (t_2 - t_1)$   
 第一组都适用，第二组不适用。第二组第一式只适用于定容过程，第二式只适用于定压过程。

3. 在定容过程和定压过程中，气体的热量可根据过程中气体的比热容乘以温差来计算。定温过程气体的温度不变，在定温膨胀过程中是否需要对气体加入热量？如果加入的话应如何计算？

需要加入热量。 $q = u + w$ ，对于理想气体， $q = w = RT \ln \frac{v_2}{v_1}$  或  $q = h + w$ ，对于理想气体， $q$

$= w = RT \ln \frac{v_2}{v_1}$

4. 过程热量  $q$  和过程功  $w$  都是过程量，都和过程的途径有关。由理想气体可逆定温过程热量

公式  $q = PM I$  可知，只要状态参数  $p_i$ 、 $V_i$  和  $V_2$  确定了， $q$  的数值也确定了，是否可逆定温过

程的热量  $q$  与途径无关？

“可逆定温过程”已经把途径规定好了，此时谈与途径的关系没有意义。再强调一遍，过程热量  $q$  和过程功  $w$  都是过程量，都和过程的途径有关。

5•闭口系在定容过程中外界对系统施以搅拌功  $w$ ，问这时  $Q = mc_dT$  是否成立？

不成立。搅拌功  $w$  以机械能形式通过系统边界，在工质内部通过流体内摩擦转变为热，从而导致温度和热力学能升高。  
 $Q$  是通过边界传递的热能，不包括机械能。

6 . 绝热过程的过程功  $w$  和技术功  $w$  的计算式

$$w = u_i - u_2, \quad w = h_i - h_2$$

是否只适用于理想气体？是否只限于可逆绝热过程？为什么？

两式来源于热力学第一定律的第一表达式和第二表达式，唯一条件就是绝热理想气体无关，且与过程是否可逆也无关，只是必须为绝热过程。

$q=0$ ，与是否

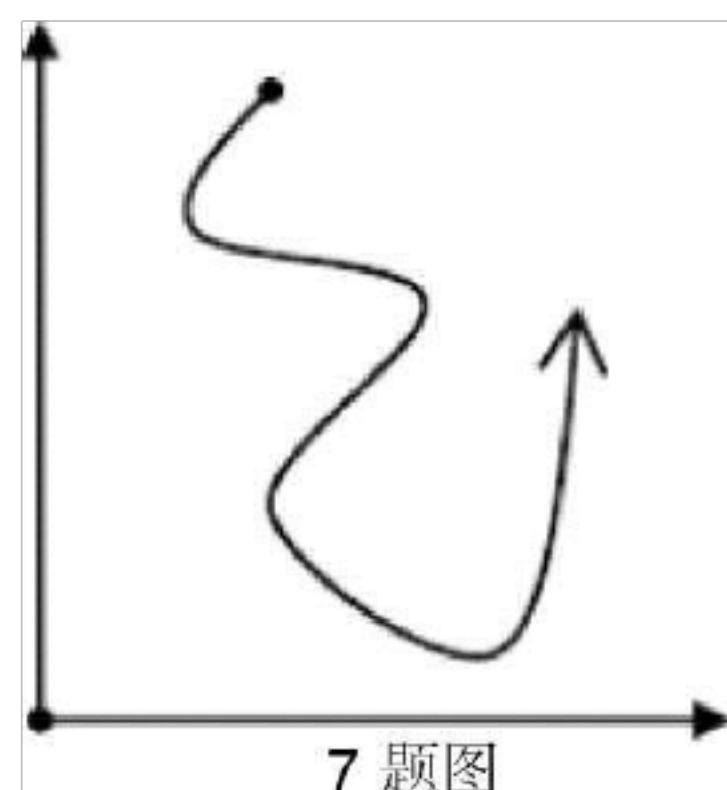
7. 试判断下列各种说法是否正确？

- (1) 定容过程即无膨胀(或压缩)功的过程；
- (2) 绝热过程即定熵过程；
- (3) 多变过程即任意过程。

答：(1)定容过程即无膨胀(或压缩)功的过程；——正确。

(2) 绝热过程即定熵过程；——错误，可逆绝热过程是定熵过程，不可逆绝热过程不是定熵过程。

(3) 多变过程即任意过程。——错误，右图中的过程就不是多变过程。



8. 参照图 4-17，试证明： $q_{1-2-3} = q_{1-4-3}$  图中 1-2、4-3 各为定容过程，1-4、2-3 各为定压过程。

$$\begin{aligned} \text{证明：} \quad q_{1-2-3} &= q_{1-2} + q_{2-3}, \quad q_{1-4-3} = q_{1-4} + q_{4-3} \\ q_{1-2} &= c_v (T_2 - T_1), \\ q_{2-3} &= c_p (T_3 - T_2) = c_v (T_3 - T_2) + R(T_3 - T_2), \\ q_{4-3} &= c_v (T_3 - T_4), \\ q_{1-4} &= c_p (T_4 - T_1) = c_v (T_4 - T_1) + R(T_4 - T_1). \\ q_{1-2-3} &= q_{1-2} + q_{2-3} = c_v (T_2 - T_1) + c_v (T_3 - T_2) + R(T_3 - T_2) \\ &= c_v (T_3 - T_1) + R(T_3 - T_2) \\ q_{1-4-3} &= q_{1-4} + q_{4-3} = c_v (T_4 - T_1) + R(T_4 - T_1) + c_v (T_3 - T_4) \\ &= c_v (T_3 - T_1) + R(T_4 - T_1) \end{aligned}$$

$$\text{于是 } q_{1-2-3} - q_{1-4-3} = R(T_3 - T_2) - R(T_4 - T_1)$$

$$=R[(\frac{T_i}{P_i}-T_{ib})-(\frac{T_4}{P_4}-\frac{T_1}{P_1})]=R(\frac{P_1}{P_2}-1)(\frac{T_4}{P_4}-\frac{T_1}{P_1})>0$$

所以， $q_{i-2-3}q_{1-4-3}$ ， 证毕。

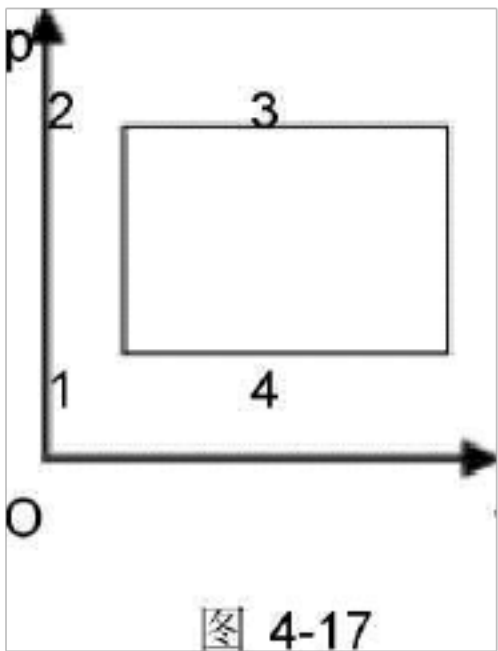
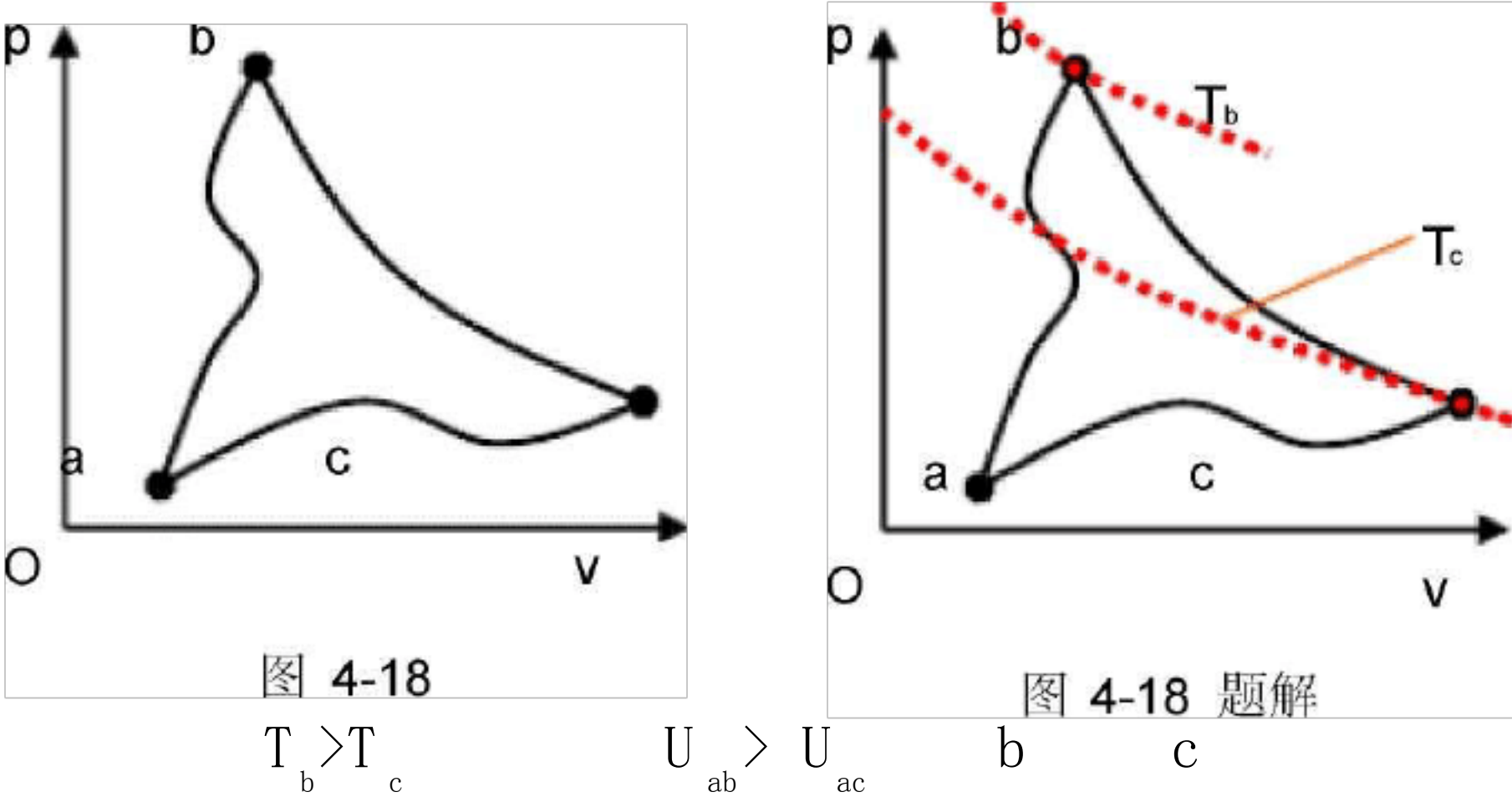


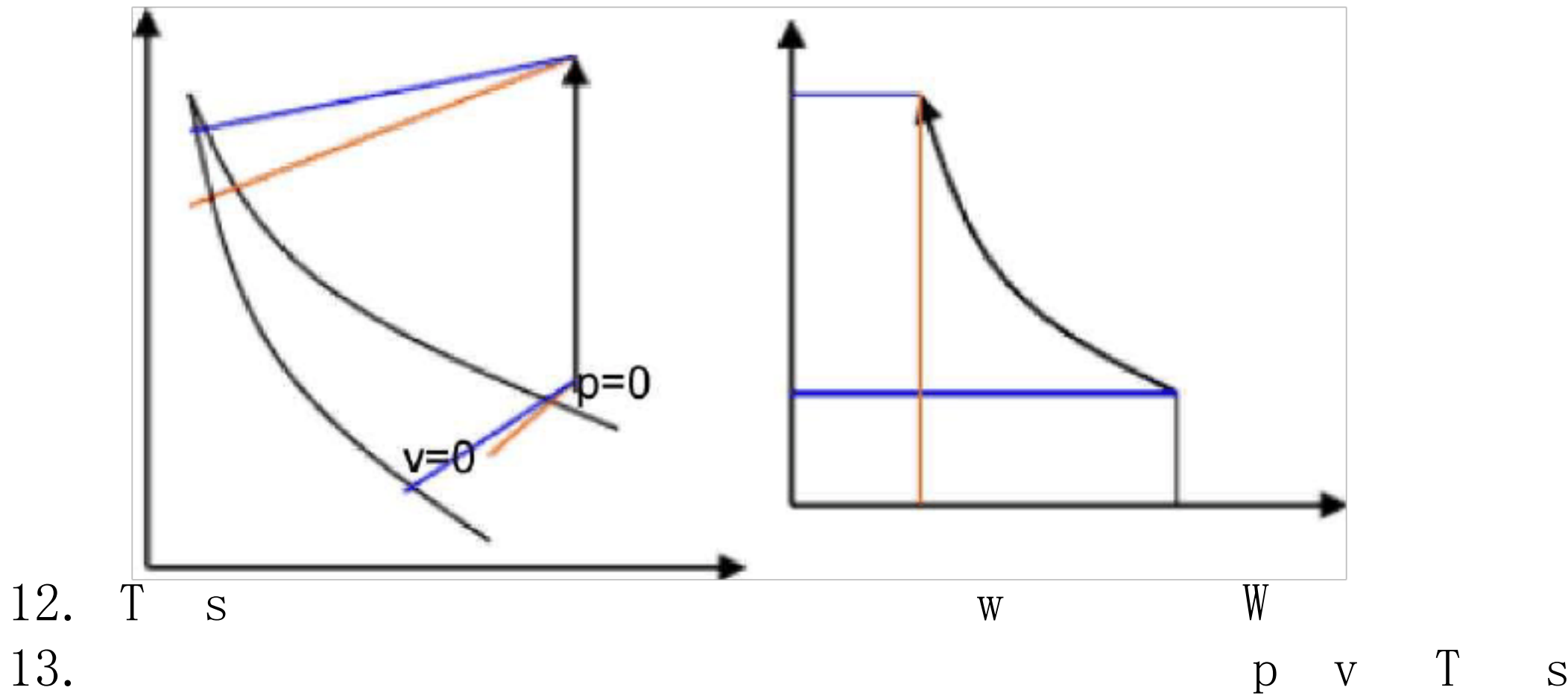
图 4-17

9 4-18 (2) a b a c b c (1)  $u_{ac}$   
 $u_{ab}$



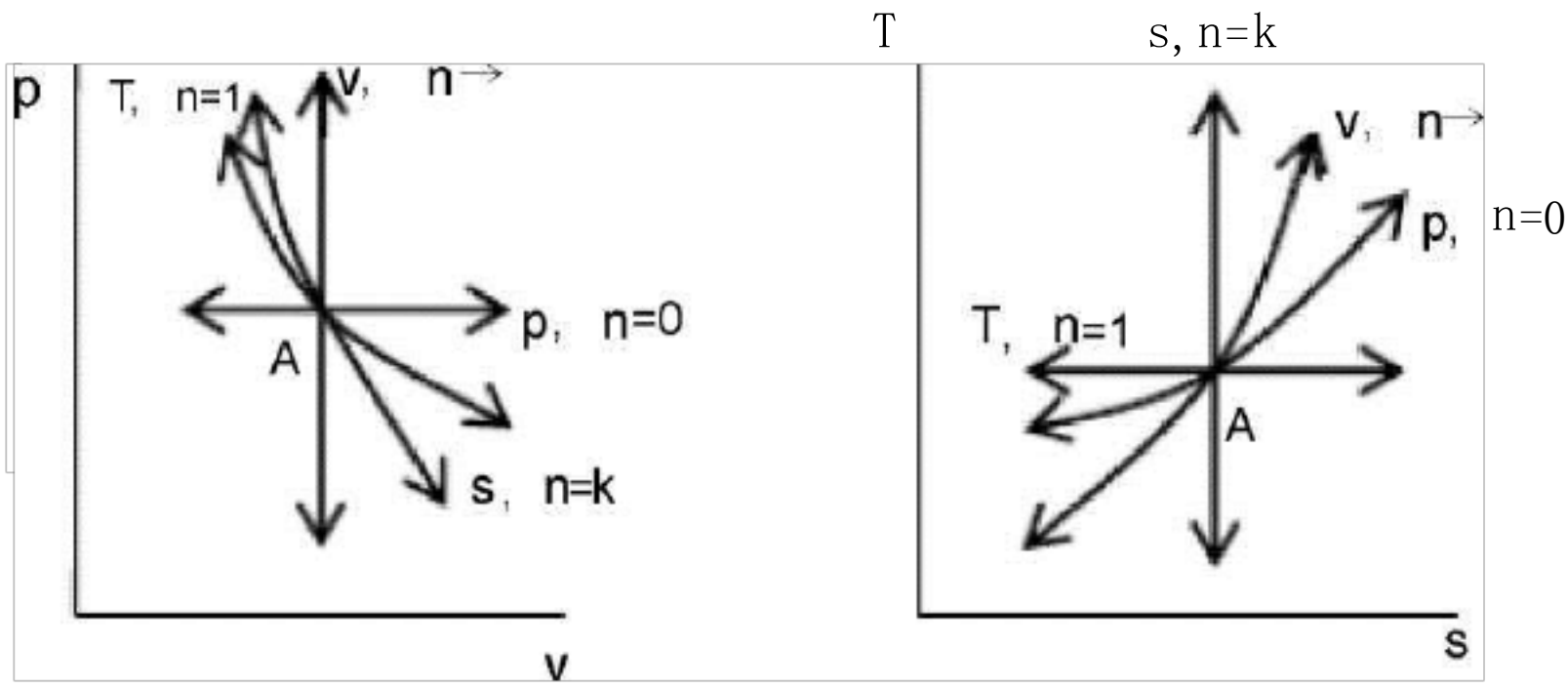
10  $U_{ab} = U_{ac}$   
 $w = q - u$   $w = q - h$   
 $u$   $h$

11  $P_2 V_{2k} = p V_{1k}$   $T_1 V_{1k-1} = T_2 V_{2k-1}$   $T_1 P_{t_k} = T_{?} p_{2_k}$   $k-1$



h  $q$   $w$   $u$   
 $w > 0$   
 $w < Q$   
 $w > 0$   
 $w < 0$   
 $u < 0$   $h < 0$   
 $u > 0$   $h > 0$   
 $q > 0$

$q<0$



14.

15.

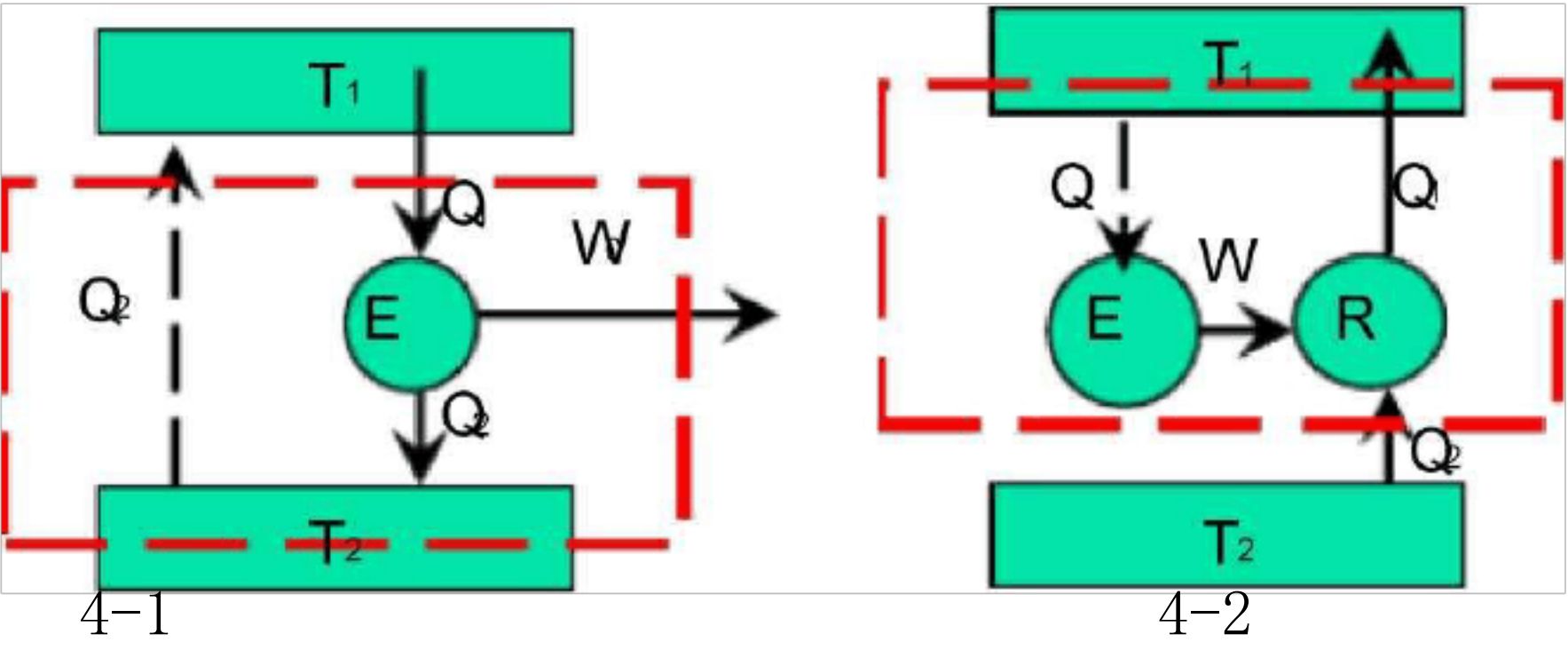
5-1

5-2

5-3

5-4

5-5



$4-1$

$4-2$

$W,$

$Q=Q$

$W$

$(Q_i \quad Q)$

4-2

5-6

$1$

$W_{et}$

$2$

$3$

$t_1$

$t_2$

r1

- 1
- 2
- 3

5-7

$t_q^1$

$t$

$Q_1$

$T_1$

5-8

5-8

$1$

$2$

$3$

$4$

$5$

$6$

$S_g > 0$

$1$

$2$

3

4

5

$(\frac{1}{2}VS; \quad 4 \quad 0ds \quad 0 \quad o \quad 0 \quad S > S$   
 $Tr$

5-9  $1 \quad S \quad 2$   
 $> \quad S \quad > \quad S$   
 $S_f > S_f$   
 $S_g$

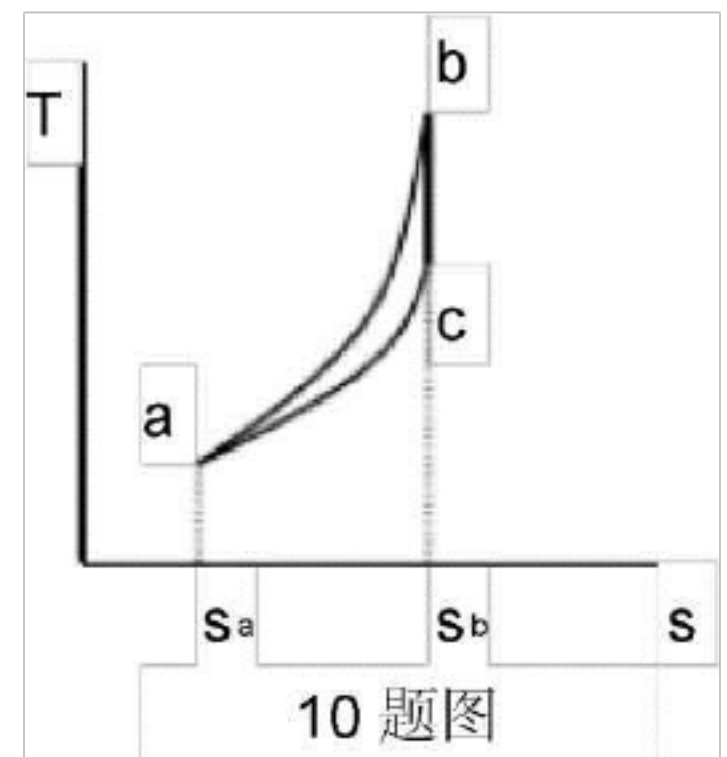
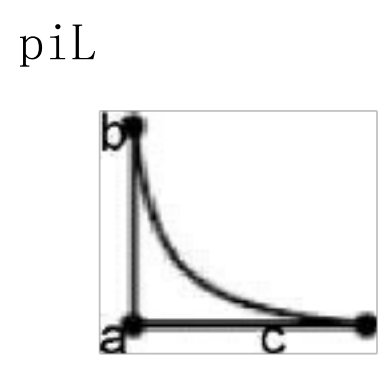
1 So  
 (2  $S = S \quad S_f < S \quad S_g > S_g$

(4  $ds \quad 0$

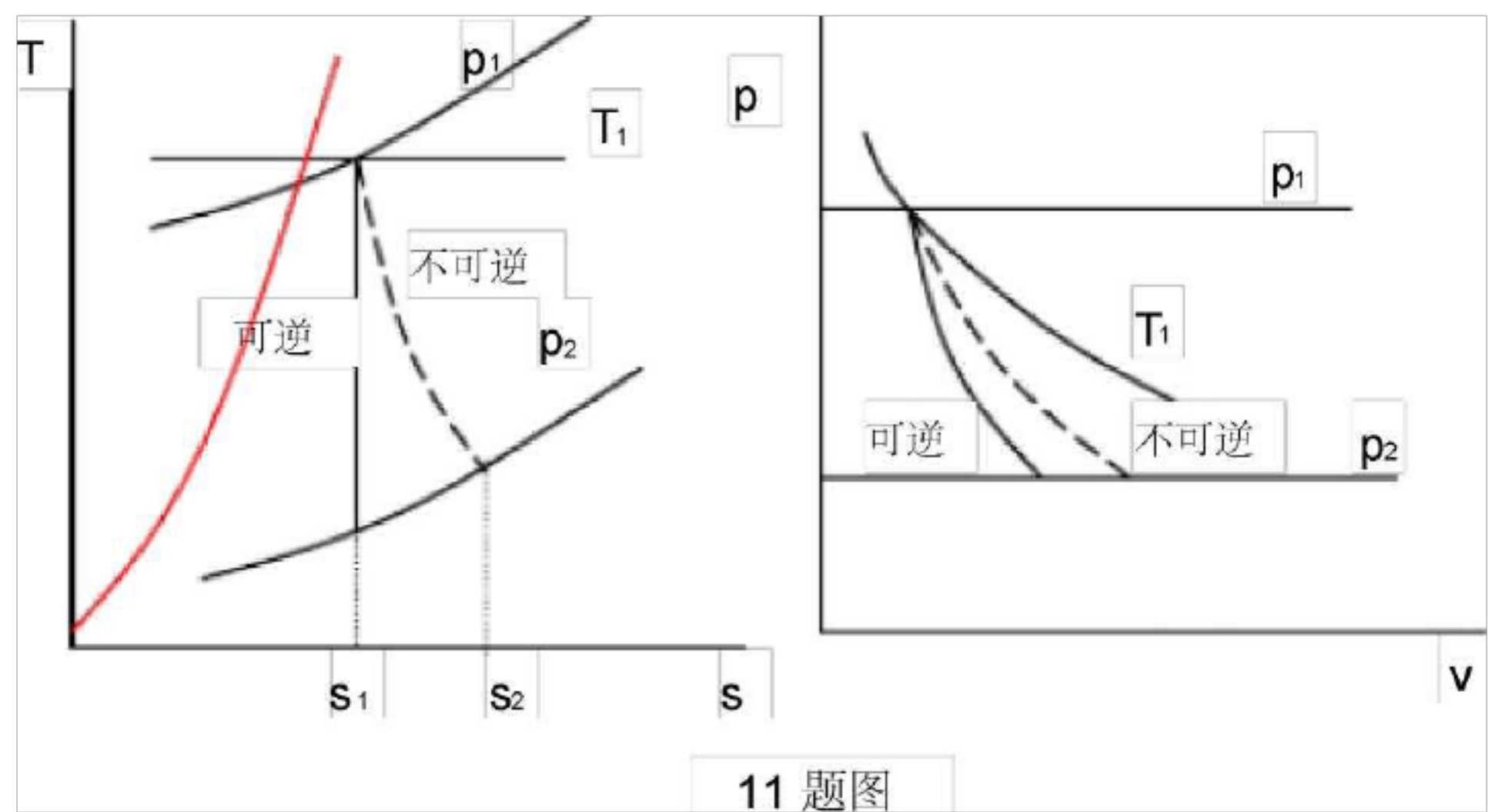
5-10  $a \quad a \quad b \quad a \quad c, b$   
 $5 \quad 34 \quad q_{a \quad b} \quad q_{a \quad c} \quad T \quad s \quad a$   
 $b \quad a \quad c \quad q_{a \quad b} \quad q_{a \quad c}$   
 $a-b \quad a-c \quad c-a$

$b-c$   
 $a-b \quad c-a$   
 $q_{a-b} > q_{c-a}$   
 $q_{a-b} > q_{a-c}$   
 $q_{a-b} \quad abS \quad S \quad a$   
 $q_{a-c} \quad acS \quad S \quad a$

5-11  $p \quad v \quad T \quad s$   
 $T \quad s$



10 题图



11 题图

5-12  $1 \quad 2$

$$\frac{1}{2}$$

$$5-13 \quad 5 \quad 12 \quad 310\text{K} \quad 310\text{K}, \quad w_{-2 \text{ ma}} = w \quad \text{kJ/kg}$$

$$5-14$$

$$1$$

$$2$$

$$3$$

$$4$$

$$5$$

$$5-15 \quad \begin{matrix} 1 & 2 & w=u & w_u = \\ u_1 & u_2 & p_0 & (v_1 \quad v_2) \\ & & W_{, \max} = e_{x, u1} & e_{xu2} = U_1 \quad U_2 \quad T_o \quad (S_1 \quad S_2) \\ & 2 & & 1 & p_o \quad (v_1 \quad V_2) & 1 & 2 \end{matrix}$$

$$1.$$

$$P \quad 0$$

$$2. \quad Z \quad Z$$

$$Z$$

$$3.$$

$$4. \quad a \quad b \quad T_{er} \quad P_{cr} \quad v$$

$$5.$$

6.

I

7.                      p   v

8.

$$H=G + TS, \quad U=F + TS$$
$$dg =dh - d(Ts) =dh - Tds - sdT$$
$$Tds \quad ds=0 \quad dg=0$$

$$dg =$$
$$ds>0 \quad dg<0$$
$$dg<0,$$
$$df<0$$
$$g \quad f \quad dg=0, \quad df=0$$
$$TS$$

du=0,

$$dg \quad df=d(h - Ts) \quad d(u - Ts)=dh$$
$$dh \quad du= d(pv)=0$$

9.                      u=u(s, p)

u=u(s, p)

10.

p   v   T

11.

u   h   s

$$dH$$

$$P_{\circ} \quad T_{\circ}$$

$$dH$$

$$p \quad T$$

$$dH$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/888071007016006100>