动 力 工 程

热 力 工 程

【热力工程】生产和利用热能的工程。自然界中许多能源（如燃料的化学能、太阳能、地热、原子能等）都是以热能形式出现的。热能或是直接被利用，如冶金、化工等生产过程中的加热、烘干和供暖等；或是用作动力，如汽车、火车、船舶、飞机等；热力电站则是大量地利用热能转换为电能以提供动力。热力工程是国民经济中的一个重要方面。它包括供热工程、蒸汽动力工程、热力发动机以及与此有关的基础辅助系统。研究减少能量损耗、提高能量利用率以节约能源是热力工程所面临的重要课题。

【物质的热物理性质】物体受热时固有的物理性质。如温度升高、体积膨胀、在物体内热量由一处传到另一处等。对于不同物质的物体，这些性质是不同的，通常用“比热”、“热膨胀系数”、“热传导率”、“热扩散率”这些热物理参数来描述。

【比热】单位数量物质温度升高 1℃所需要的热量。它是物质的一个重要的热力学性质。由于物量单位有千克、体积和摩尔，采用这些物量单位对应定义的比热分别称为质量比热、容积比热和摩

需要全本请访问 www.ertongbook.com

尔比热。

【比热比】定压比热与定容比热的比值。是热工计算中常用的参数。

【体膨胀系数】定压下体积随温度变化的相对变化率。

【普朗特数】流体的运动粘度与热扩散率的比值。它反映流体动量传递和热量传递能力的相对大小，是传热学中一个很重要的物性参数。

【热力平衡】热力系统在没有外界作用（热、功交换）的情况下宏观性质不随时间变化的状态。热力系的平衡包括热平衡、力平衡、化学平衡和相平衡四个方面，经典热力学通常只考虑前两种平衡。若组成热力系的各部分之间没有热量的传递，热力系就处于热平衡；各部分之间没有相对位移，热力系就处于力平衡。同时具备了热和力的平衡，热力系就处于热力平衡状态。

【热力状态】用热力学基本状态参量，压力 P、温度 T、比容 v 描述的工质（体系）在变化过程中某瞬间的容现和理状态。如果工质（体系）各部分状态号量均匀而且不随时间而变，则该热力状态为平衡态。平衡态和由平衡态组成的热力过程是经典热力学研究的主要对象。若状态参量不均匀且随时间而变，该热力状态为非平衡态，也叫非稳态。对于单相均匀的工质（如气体），在通常的情况下，可由任意两个独立的状态参数来确定其热力状态。

【比容】单位质量物质所占的容积。单位为米^3/公斤。比容的倒数

为密度。

【焓】一个组合状态参数，数值上等于物质内能与物质体积和压力的乘积之和。

【熵】热力学系统的一个重要态函数，其变化指明自发过程进行方向，并给出孤立系统达到平衡的必要条件。可逆过程熵的变化等于系统吸收或放出的热量与系统的热力学温度之比。

【状态方程】热力系中基本状态参数之间的函数关系式。

【热力过程】由于外界作用（功、热交换）使系统状态发生变化的过程。若热力系沿原过程路线反向回复到原状态而不给外界留下任何影响的过程称为可逆过程。否则称为不可逆过程。热力学中都是讨论可逆过程，可以很方便地用状态参数坐标图中的一条曲线来表示。热力学中把许多实际过程近似地概括成五个基本过程，它们是：定容、定压、定温、绝热和多变过程。分析过程的目的在于：(1) 确定过程的特点，或求得过程方程；(2) 确定初、终参数之间的关系；(3) 确定过程中工质与外界的功和热量的变换。

【多变过程】热力系状态变化满足：$P\upsilon^{n}=$定值的过程。上式即为多变过程的过程方程，n 为变指数，在过程中 n 为某一常数。定容、定压、定温、绝热等过程是多变过程的一些特例。上述过程在状态参数坐标系中的变化曲线示于下图。多变过程比上述过程更普遍，但又有别于实际过程，在实际过程中，n 通常是变化的。

【正向循环】又称热机循环。将热能转换成机械能的循环。

【卡诺循环】由两个可逆的定温过程和两个可逆的绝热过程组成的循环。它有下列特点：(1) 卡诺循环的热机效率只决定于热源和冷源的温度，温差越大，则效率越高，这给提高热机效率指出了方向；(2) 卡诺循环的热效率只能小于 1，但对于同样温度界限内的任何循环而言，卡诺循环效率最高，因此，卡诺循环是实际热力机选择循环时的最高理想。

【奥托循环】由两个定容过程和两个绝热过程组成的汽油发动机理想化的定容加热循环。在循环中压缩比越大，热效率越高。但压缩比的提高受混合气体自燃温度的限制。当压缩比超过一定值时，

混合气体会发生“爆燃”，使发动机不能正常工作。

【狄塞尔循环】由一个定压、一个定容和两个绝热过程组成的柴油发动机理想化的定压加热循环。其热效率随压缩比的增大而提高，随予胀比的增大而降低。柴油机压缩比的增大则受机械效率的限制，因为随着压缩比增大，其机械效率降低。

【斯特林循环】由两个定温过程和两个定容过程组成的活塞式热气发动机（又称斯特林发动机）的理想循环。

【布雷敦循环】由两个等压过程和两个绝热过程组成的燃气轮机定压加热理想循环。

【郎肯循环】由两个绝热过程和两个定压过程组成的简单蒸汽动力装置的理想循环。其中，初温、初压越高，乏汽压力越低，则其热效率越高。

【逆向循环】又称制冷循环或热泵循环。系统消耗机械功，从冷源将热量转移给热源的循环。

【熵增加原理】孤立系的熵可以增大，或保持不变，但不能减少。孤立系内发生可逆的传热，可逆的热转换为功的循环时，其熵不变。如过程不可逆，其熵增加。这一原理近来也用以解释宇宙起源及人类社会活动等的一些问题。

【能量贬值原理】能量中可用能的减少称为能量的贬值。据卡诺定

理，可逆热机的效率最高，而对于不可逆热机，其效率要降低，这就使同档的热量转化的机械能（这里的可用能）减少，即能量贬值。能量贬值总是由于不可逆变化引起的，同时也总伴有孤立系的熵增大。

【工质】工作介质的简称。实现热能与其他形式能量转换中的媒介物。亦称热力学工质。在热能与机械能转换中采用的工质均为气体，如空气、燃气、蒸气等。通过气体膨胀实现这一转换。

【混合气体】由几种单一气体组成的无化学反应的稳定气体。热力工程中常见的混合气体有空气、燃气、烟气等。混合气体中各组成物的含量，有绝对成分和相对成分之分，按所取单位则有质量成分、容积成分和摩尔成分。

【湿空气】含有水蒸汽的空气，是水蒸汽与干空气的混合物。在通常情况下，由于空气中水蒸汽含量很少，有时就按干空气（即按理想气体）来计算。但在干燥过程、空气调节、蒸发冷却等情况下，就必须按混合气体来考虑。干空气和过热蒸汽组成的湿空气称为未饱和空气；干空气与饱和水蒸汽（即其分压力等于当时温度所对应的饱和压力时的水蒸汽）组成的湿空气称为饱和空气。湿空气中水分的含量称为湿度，它有三种表示方法：(1) 绝对湿度（单位容积湿空气中所含水蒸汽的质量）；(2) 相对湿度（单位容积湿空气中水蒸汽的实际含量与同温度下的最大可能含量之比）；(3) 含湿量（每千克干空气中所含水蒸汽量的克数）。

【露点】将未饱和空气定压冷却到开始结露时的温度。即湿空气中水蒸气分压力所对应的饱合温度。如果露点低于零摄氏度，水蒸

气便会结霜。不同湿度的湿空气有不同的露点，即露点与水蒸气分压有关，但与总压力无关。露点可用露点计或干—湿球温度计来测量。

【实际气体】某些不能忽略分子本身所占有的体积及分子间相互作用力的气体。严格说，热机中遇到的各种工质都是实际气体，只是为方便分析、简化计算，把某些气体（如空气、烟气和燃气等）当作理想气体来处理。而对于在高压、低温下的气体或蒸汽等，就不能当作理想气体。实际气体的性质比较复杂，不能用理想气体状态方程来描写，而应用实际气体的状态方程。

【范德瓦尔斯方程】实际气体的状态方程之一。是在理想气体状态方程的基础上考虑分子体积及分子间相互作用力后得到的方程。是一半经验方程，修正因子要经实验确定。

【水蒸汽】由水（或冰）汽化（或升华）变成的气体。是许多换热器、蒸汽发动机等所采用的工质。在未充满水的密闭容器内，水分子逸出液面与水分子返回水中的两种动态过程达到平衡时，水蒸汽含量达到稳定状态，这种状态称为饱和状态。饱和状态下的水和水蒸汽分别称为饱和水与饱和水蒸汽。对于水，当温度超过 647．3K 时，将只有气相存在，相图中这点称为临界点，此时温度称为临界温度。相图中，汽、液、固三相共存的点称为三相点。

【水蒸汽的汽化潜热】一公斤饱和水在一定的压力下完全变为相同温度的饱和水蒸汽所需加入的热量。压力越高，汽化潜热越小，当

压力达到临界压力时，汽化潜热变为零。

【水蒸汽图表】描述水蒸汽热力性质的图和表。图表中规定三相点的饱和水的内能和熵等于零，焓值也接近于零。常用的水蒸汽图有压容（P—v）图、温熵（T—S）图和焓熵（h—S）图。

图中曲线 A_1C 及 CA_2 分别为饱和水线和饱和水蒸汽线。它们把图面分隔为水、湿蒸汽和过热蒸汽三个区。湿蒸汽区即汽、液两相共存的饱和区，在这个区域内水汽化变成饱和蒸汽的过程既是定压过程又是定温过程。压容图可用来表示水蒸汽的状态及其变化过程；温熵图常用来分析水蒸汽的热力过程或热力循环，图中饱和区水汽化过程线下的面积表示汽化潜热 r；焓熵图在蒸汽动力工程的计算中使用更为方便。水蒸汽热力性质表常用的有饱和水与饱和水蒸汽表和未饱和水与过热水蒸汽表两种。

【气体和蒸汽的绝热流动过程】气体或蒸汽与外界无热交换的流动过程。在热力工程中，管道、喷嘴、扩压管、节流装置（孔板、阀）中的流动在多数情况下可以认为是绝热过程。

【喷嘴与扩压管】利用流体压力降低而增加流速的特殊形状的管段称为喷嘴，利用流体减速来提高压力的特殊管段称为扩压管。喷嘴和扩压管是汽轮机、燃汽轮机、喷气式发动机、火箭发动机乃至各种喷射泵、引射器、抽气器中的主要部件。喷嘴有渐缩形和缩扩形；扩压管有渐扩形和缩扩形。

【气体和蒸汽在喷嘴和扩压管中的流动】由于喷嘴（扩压管）中的流速很快，长度又很短，因而可近似当成绝热流动过程。按照可逆绝热（定熵）流动的特性对喷嘴要求：流速为亚音速时要做成渐缩形喷嘴；流速为超音速时要做成缩扩形喷嘴。对扩压管的要求：流速为超音速时要做成渐缩扩压管；流速为亚音速时要做成渐扩扩压管；流速由超音速连续降到亚音速时要做成缩扩形扩压管。流速等于当地音速的情况，总是发生在最小截面处。

【临界流速】喷嘴中达到当地音速的流速。临界流速总是发生在喷嘴的最小截面（即喉部）处。

【临界压比】临界压力（即流速达到当地音速时气流的压力）与滞止压力（流速等于零时气流的压力）的比值。空气的临界压比值约为 0.528，过热和饱和水蒸汽的临界压比值分别约为 0.546 和 0.577。

【引射器】又称抽气器或喷射泵。利用高压流体（蒸汽、气体、水等）喷射来抽吸或输送低压流体（蒸汽、有害气体、水等）的设备。构造简单，无运动部件，使用方便，很适合抽除含尘、腐蚀性和易燃易爆的气体。缺点是在混合过程中不可逆损失较大，热

能利用率较低。凡有余热蒸汽来源的地方可以被用作喷射制冷、真空抽气或小型锅炉给水等。

【节流过程】使流体压力降低的一种热力过程。流体流过突然缩小随即又突然扩大的流通截面（如孔板、阀门等）而引起压力降低的过程。节流过程在热力工程中有广泛的应用。最常见的应用是使流经管路中的流体压力降低或变更流体的流量。具体的应用有：如利用孔板前后的压力差来测量流量；利用多次节流产生的显著压降来做轴封；利用等焓节流过程在蒸汽压缩致冷循环中，将冷凝器输出的工质高压液体变成为输入蒸发器的低压工质湿蒸汽等。在有的场合，又要避免节流过程的出现，如汽轮机的蒸汽流道中如发生节流，将引起的热能的损失。

【热传导】又称导热。物体各部分无相对位移或不同的物体直接接触时依靠分子、原子及自由电子等微观粒子热运动而进行的热量传递现象。它是传热的基本方式之一。单纯的导热只能发生在固体中。温差的存在是产生导热的根本条件。某一瞬间空间所有各点的温度分布称为温度场，不随时间变化的温度场称为稳定温度场，反之称为不稳定温度场。稳定温度场引起的导热称为稳定导热，不稳定温度场引起的导热称为瞬态导热。研究导热的目的是为了增强或减弱导热。工程上只限于研究导热现象的宏观规律。导热的速率由傅立叶方程确定，物质的导热性能用导热率或热阻来表征。物体内部的温度分布可通过求解导热微分方程得到。

【傅立叶定律】热流密度（单位时间内通过单位面积所传递的热量，也称热通量）在数值上与温度梯度（表征空间温度场变化强弱的

物理量）成正比。这是热传导的基本定律，是由法国数学家傅立叶在大量导热实验结果基础上于 1822 年提出的。

【热传导率】又称导热系数。表征物体导热能力的特性参数。在数值上它表示单位时间内沿导热方向单位长度上温度降低 1 摄氏度时，单位面积所导过的热量，单位是瓦/米·度。对于不同物质，导热系数不同。对于同一物质，其导热系数也因温度、压力、湿度、密度及物质组成的结构形式不同而异。有些材料，如木材、石墨、云母等的异热系数随导热方向变化而变化，称为各向异性导热体。

【热阻】阻止热量传递的综合参数。在传热计算中，它是一个方便而常用的参数。在热传导中遇到的热阻称为导热热阻，它与材料厚度成正比，与材料导热系数及材料导热面积成正比。在对流换热中，壁面与流体之间的热阻称为对流热阻，数值上与对流换热系数及换热面积成反比。在辐射换热中的热阻称为辐射热阻，其阻值与物体间相互辐射的等效面积及相对辐射角系数成反比。此外，两固体接触面上还存在有接触热阻。

【热扩散率】又称导温系数。反映物体受热或冷却时各部分温度趋向一致的能力，是瞬态导热中的一个重要参数，数值上等于材料的导热系数与材料密度及比热的比。

【对流换热】又称对流传热或对流放热。流体和固体壁面直接接触时所发生的热传递过程。它是热传导和热对流综合作用的结果。因此，对流换热的强弱与流动状态、流体的物理性质以及壁面的形

需要全本请访问 www.ertongbook.com

状、尺寸、位置和表面状况等诸多因素有关，是一个极为复杂的传热过程。若流体的运动是由泵、风机、风扇等设备引起的，这样的传热过程称受迫对流换热。若流体的运动是由于传热本身产生的密度差引起的，这样的传热称自然对流换热（或称自由对流换热）。对流换热还包括有相变的沸腾换热和凝结换热以及汽—液两相对流换热。

【牛顿冷却公式】简称牛顿公式。由牛顿于 1701 年提出，表述为：对流换热热流密度与固壁与流体的温差成正比，其中比例系数为对流换热系数。牛顿公式并没有说明对流系数与各种复杂因素的关系，因而没有给工程计算带来实质性的简化。

【对流换热系数】又称放热系数。1 平方米壁表面积上，当流体与壁面之间温差为 1℃时，每分钟所传递的热量。它反映对流换热的强弱，但受流体和壁面的许多因素影响。研究对流换热的目的之一，就是寻求各种条件下对流换热系数与各种因素的关系。具体研究方法有实验测定法、数学分析解法和数值分析解法。

【沸腾换热】液体处在剧烈汽化状态的换热过程。由于状态的变化和强烈的扰动，沸腾换热要比单相换热强烈的多。沸腾换热常见于锅炉、蒸馏塔、蒸发器以及诸如火箭喷管、核反应堆芯、浇铸、热管等需要强化传热和冷却的场合。

【凝结换热】蒸汽在低于其饱和温度的固体或液体表面上凝结时的换热过程。有两种凝结形式：膜状凝结（润湿性液体的蒸汽）和珠状凝结（非润湿性液体的蒸汽）。膜状凝结换热时热要通过膜层

传到冷表面。因此，膜层的厚度和流态（层流或紊流）对换热系数影响很大。珠状凝结换热时蒸汽通过珠间面积直接与冷表面接触，因而换热系数很大，但工业设备中常见的水蒸汽或其他蒸汽在金属壁面上的凝结一般都是膜状凝结，因此，在工业设备的设计计算都应按膜状凝结来考虑。

【热管】一种新型高效的传热元件。利用了沸腾和凝结两种相变换热过程，与同直径的良导体（如铜、银等）轴向导热相比，其导热能力要高数百倍。热管一般由内衬吸液芯的密闭金属管和工作介质组成。液态工作介质在热管的加热段通过管壁吸收外界热源的热量并沸腾蒸发为蒸汽，靠蒸汽压差把蒸汽送到放热段，散热后凝成液体，并由吸液芯的毛细作用返回蒸发段，如此循环实现热的交换。除传热能力大外，热管还有下列特点：（1）轴向温降很小，整根热管几乎是等温的；（2）结构简单，无运动部件，工作可靠；（3）选用不同工质可使热管适应很宽的温度范围，因而有着广泛的应用前途。

【辐射换热】不同温度的两个物体之间通过热辐射（电磁波）进行的非接触传热过程。工业中常见的辐射换热有固体之间和固体表面与火焰或蒸汽之间两种情况。任意位置两表面之间的辐射换热量与两表面温度的四次方差、黑度及有效辐射面积等有关。辐射换热是各种锅炉等高温设备中的重要换热方式。

【黑体与灰体】研究辐射换热的理想化物体。物体吸收、反射、透射能量与投射到物体上的总能量的比值分别称为物体的吸收率、反射率和透射率。吸收率等于 1 的物体称为黑体，黑体是吸收率

最大的物体，一切实际物体的吸收率均小于1。灰体也是一种理想化物体，其吸收率等于某个小于1的常数，它的吸收率和辐射力与波长是无关的量，这与实际物体不同。黑体与灰体的引入对分析辐射换热规律、建立有关关系方程式有重要意义。

【黑度】又称辐射率。任何实际物体的辐射力E与同温度下绝对黑体辐射力E_0之比，以$\varepsilon=\frac{E}{E_0}$表示。物体的黑度$\varepsilon$表明该物体接近黑体的程度。在加热炉内表面及电热元件表面，涂以黑度大的涂层，可以强化辐射传热。炉壳表面则应涂以黑度小的涂层，以减少辐射热损失。另外，照相底片上影像的黑白程度也称为黑度。又叫光学密度。

【斯蒂芬—波尔兹曼定律】又称四次方定律。黑体的辐射力同它的绝对温度的四次方成正比。

【辐射角系数】简称角系数。反映某一表面所发射或反射的辐射可能达到另一表面的份额的参数。对于漫射表面（发射和反射无方向性）又是反映两表面几何形状、大小及相对位置等几何特征的无量纲量。在辐射换热计算中，角系数的概念和计算是很重要的。确定角系数的方法有下列五种：（1）直接积分法；（2）周线积分法；（3）代数解法；（4）交叉线法；（5）投影法。常用几何图形的角系数可以在资料中查到。

【换热器】又称热交换器。把热量从较热的流体传给较冷的流体的设备。它不仅是保证动力、化工、轻工、冶金等各种工艺流程和

条件而广泛使用的装备，也是开发利用工业二次能源、实现余热回收以节约能源的重要设备。换热器的种类很多，按工作原理可分为表面式、混合式与蓄热式三种，工程上用得最广的是表面式。按工作任务表面式换热器可分为加热器与冷却器；蒸发器与冷凝器。按传热面结构表面式换热器又可分为管式和板式两大类。管式中又有列管式、套管式，翅片管式等多种型式；板式中也有波纹平板式、螺旋板式、板壳式、板翅式等多种型式。在表面式换热器中，冷热流体的流动方式有顺流（a）、逆流（b）、交叉流（c）以及这三种流动的组合（d、e、f）。

流体在换热器中流动方式

【管壳式换热器】由外壳、管板和管道构成的一种表面式换热器。管壳式换热器结构坚固、易制造，换热表面清洗方便，适应性强，高温高压场合也可以用。是久经考验、目前仍占主要地位的换热设备。

管壳式换热器原理

(a) 蒸汽加热器

(b) 表面式凝汽器

【肋片管式换热器】管子外壁加有肋片的管式换热器。加肋片的目的是增加空气侧的换热面积。这种换热器的结构紧凑，非常适用于换热面两侧流体放热系数相差较大的场合。汽车前面的冷却水箱就是属于这一种。肋片的形状很多，有方形、圆形、皱纹形等，与管子的连接方式也有多种，如嵌片式、焊接、铸造等。不同的结构和连接方式对流动阻力，特别是传热性能有很大影响。

【螺旋板换热器】由两张平行的金属板卷起来，构成两个螺旋形通道，再加上下盖板及连接管而成的板式换热器。这种换热器的螺形通道有利于提高放热系数，其中的污垢形成速度也只有管壳式的十分之一，另外，它的结构紧凑，单位体积可容纳的换热面积约为管壳式的三倍。其缺点是不易清洗，检修困难，承压能力低。

螺旋板换热器

【板翅式换热器】由多层基本换热元件组成的板式换热器。这种换热器用作气—气换热器时，传热系数可比管式高十倍，而且结构紧凑，承压也较高。缺点是易堵塞、清洗困难、不易检修。

板翅式换热器结构原理

1. 半隔板；2. 侧条；3. 翅片；4. 流体

需要全本请访问 www.ertongbook.com