

全国中等物资学校试用教材

机 械 产 品

下 册

63

物资出版社

TH-63
16
2.2

全国中等物资学校试用教材

机械产品

下册

hyss/15

物资出版社



B

500494

全国中等物资学校试用教材

机 械 产 品

(下 册)

物 资 出 版 社 出 版

北京市新华书店发行

通县曙光印刷厂印刷

开本: $787 \times 1092/16$ 印张: $15\frac{1}{4}$ 字数: 343千字

1986年5月第1版 1987年11月第2次印刷

印数15,000—20,000册

书号: 4254·140 定价: 2.30元

编写说明

本书是为全国中等物资学校编写的试用教材，亦可供物资部门有关业务人员自学参考。

全书分上、下两册。上册的主要内容为：金属切削机床、机床附件、刀具、磨具、量具、滚动轴承、焊接材料以及起重运输机械等；下册的主要内容为：工业锅炉、内燃机、汽车、制冷设备、压缩机、风机、泵和阀门等。

参加本书编写大纲讨论的有安徽省物资学校、浙江省物资学校、湖北省物资学校和北京经济学院物资管理系等有关老师。全书由湖北省物资学校黄志雄同志编写，国家物资局机电设备局审阅，北京经济学院物资管理系顾志坤同志主审定稿。

由于编者水平所限，缺点和错误之处，希望读者批评指正。

全国中等物资学校试用教材
《机械产品》编写组

目 录

第十一章 工业锅炉	(1)
第一节 锅炉概述	(1)
一、锅炉的概念与应用	(1)
二、锅炉的发展概况	(1)
三、锅炉的分类	(2)
第二节 水蒸汽的形成及其热力性质	(3)
一、水蒸汽所常用的几个气体状态参数	(3)
二、水在定压下的汽化过程	(5)
三、水蒸汽的热力性质及其对锅炉的主要影响	(7)
第三节 燃料燃烧	(9)
一、煤的组成与分类	(9)
二、煤中各元素对燃烧过程的影响	(9)
三、煤的发热值与锅炉的热效率	(10)
第四节 锅炉燃烧室	(12)
一、火床燃烧室	(12)
二、火室燃烧室	(13)
三、沸腾炉燃烧室	(15)
第五节 锅炉的结构型式	(15)
一、立式锅炉	(16)
二、卧式锅炉	(17)
三、卧式水火管快装锅炉	(18)
四、水管锅炉	(19)
第六节 锅炉的辅助设备与附件	(20)
一、水处理设备与给水泵	(20)
二、锅炉的通风机与引风机	(21)
三、锅炉附件	(21)

第七节 工业锅炉的型号编制和订货须知.....	(22)
一、工业锅炉的型号编制.....	(22)
二、工业锅炉订货须知.....	(25)
习题.....	(28)
第十二章 内燃机.....	(29)
第一节 内燃机概述.....	(29)
一、内燃机的概念、基本原理和术语.....	(29)
二、内燃机的应用.....	(31)
三、内燃机的分类.....	(31)
第二节 四种基本类型内燃机的工作循环分析.....	(32)
一、四冲程柴油机工作循环分析.....	(32)
二、四冲程汽油机工作循环分析.....	(33)
三、二冲程柴油机的工作循环分析.....	(34)
四、二冲程汽油机工作循环分析.....	(35)
五、多缸内燃机.....	(36)
第三节 内燃机的基本构造.....	(37)
一、固定支承件.....	(37)
二、活塞——曲轴连杆机构.....	(38)
三、配气机构.....	(39)
四、内燃机的供给系统.....	(39)
五、汽油机的点火系统.....	(45)
六、润滑系统.....	(47)
七、冷却系统.....	(48)
第四节 内燃机的基本性能.....	(50)
一、内燃机的功率.....	(50)
二、内燃机的热效率与油耗率.....	(52)
三、内燃机的主要特性曲线.....	(50)
第五节 内燃机型号编制与订货技术条件.....	(55)
一、内燃机型号编制.....	(55)
二、订货技术条件.....	(57)

第六节 内燃机的选用原则.....	(57)
一、农用和拖拉机用柴油机的选用.....	(57)
二、汽车用内燃机的选用.....	(58)
三、船用柴油机的选用.....	(59)
四、发电用内燃机的选用.....	(59)
习题.....	(60)
第十三章 汽车.....	(62)
第一节 汽车概述.....	(62)
一、汽车在国民经济中的作用.....	(62)
二、汽车的主要参数.....	(62)
三、汽车的分类.....	(64)
第二节 汽车的基本构造.....	(64)
一、汽车构造概述.....	(64)
二、汽车传动系.....	(66)
三、汽车行驶系.....	(70)
四、汽车转向系.....	(74)
五、汽车制动系.....	(75)
第三节 汽车型号编制和国产汽车的主要产品及其参数.....	(78)
一、汽车型号编制.....	(78)
二、国产汽车及其主要参数.....	(81)
习题.....	(82)
第十四章 气体压缩机.....	(83)
第一节 气体压缩机概述.....	(83)
一、气体压缩机的概念与应用.....	(83)
二、气体压缩机的分类.....	(83)
第二节 往复式活塞式压缩机的基本工作原理.....	(85)
一、单级压缩机的工作原理.....	(85)
二、压缩机工作循环定性分析.....	(85)
三、多级压缩.....	(87)
第三节 压缩机的排气量与功率.....	(88)

一、压缩机的排气量.....	(88)
二、压缩机的功率.....	(89)
第四节 活塞式压缩机的基本结构.....	(90)
一、压缩机的结构型式.....	(90)
二、压气机构.....	(92)
三、传动机构与基础件.....	(94)
四、冷却系统.....	(94)
五、润滑系统.....	(95)
六、控制调节系统.....	(95)
七、储气罐.....	(97)
第五节 活塞式压缩机的型号编制.....	(98)
一、按JB2589-79 标准规定的型号编制.....	(98)
二、压缩机的全称.....	(99)
三、空压机的老型号.....	(102)
第六节 活塞式压缩机的选用原则与订货须知.....	(103)
一、活塞式压缩机的选用原则.....	(103)
二、活塞式压缩机的订货注意事项.....	(104)
第七节 回转式压缩机.....	(104)
一、螺杆式压缩机.....	(104)
二、滑片式压缩机.....	(107)
习题.....	(108)
第十五章 制冷设备.....	(109)
第一节 制冷设备概述.....	(109)
一、人工制冷与制冷设备概念.....	(109)
二、制冷的应用.....	(109)
三、制冷与制冷设备的分类.....	(110)
第二节 几种制冷原理.....	(111)
一、活塞式压缩蒸汽制冷原理.....	(111)
二、吸收式蒸汽制冷.....	(112)
三、喷射式蒸汽制冷.....	(113)

四、半导体制冷原理.....	(114)
第三节 制冷剂与载冷剂.....	(116)
一、对制冷剂的要求.....	(116)
二、常用的制冷剂.....	(116)
三、载冷剂.....	(117)
第四节 活塞式制冷压缩机.....	(118)
一、活塞式制冷压缩机概述.....	(118)
二、制冷压缩机的主要参数.....	(120)
三、活塞式制冷压缩机的型号编制.....	(124)
第五节 氨制冷成套设备.....	(125)
一、6W-12.5A型空调制冷成套设备.....	(125)
二、氨制冷流程中常用辅机简介.....	(126)
三、氨制冷成套设备订货注意事项.....	(129)
第六节 氟利昂制冷应用设备.....	(129)
一、立柜式空调机组.....	(130)
二、窗式空调器.....	(131)
三、CD-3型冷库.....	(133)
四、低温制冷原理和低温箱.....	(134)
习题.....	(136)
第十六章 风机.....	(137)
第一节 风机概述.....	(137)
一、风机的概念.....	(137)
二、风机的应用.....	(137)
三、风机的分类.....	(138)
第二节 离心通风机.....	(138)
一、离心通风机的基本构造与工作原理.....	(138)
二、离心通风机的主要参数.....	(138)
三、离心通风机的性能.....	(140)
四、离心通风机的型号、全称和订货须知.....	(146)
第三节 离心鼓风机与离心压缩机.....	(154)

一、离心鼓风机与离心压缩机的特点.....	(154)
二、离心鼓风机与离心压缩机的型号与全称.....	(155)
第四节 轴流通风机.....	(161)
一、轴流通风机的结构特征与工作原理.....	(161)
二、轴流通风机的性能特征.....	(163)
三、轴流通风机的型号和全称.....	(163)
第五节 回转式鼓风机.....	(168)
一、回转式鼓风机的工作原理与特性.....	(168)
二、回转式鼓风机的型号编制.....	(169)
习题.....	(171)
第十七章 泵.....	(172)
第一节 泵的一般概念及分类.....	(172)
一、泵的概念与应用.....	(172)
二、泵的分类.....	(172)
第二节 离心泵.....	(173)
一、概述.....	(173)
二、离心泵的基本构造与工作原理.....	(174)
三、离心泵的主要性能参数.....	(176)
四、离心泵的性能.....	(179)
五、离心泵的型号与订货须知.....	(183)
第三节 轴流泵、混流泵、旋涡泵.....	(187)
一、轴流泵.....	(187)
二、混流泵.....	(189)
三、旋涡泵.....	(190)
第四节 往复泵.....	(193)
一、概述.....	(193)
二、往复泵的型号.....	(195)
第五节 回转泵.....	(196)
一、概述.....	(196)
二、齿轮泵.....	(197)

三、螺杆泵.....	(199)
习题.....	(201)
第十八章 阀门	(202)
第一节 阀门概述.....	(202)
一、阀门的概念与应用.....	(202)
二、阀门的主要参数.....	(202)
三、阀门的分类.....	(203)
第二节 截断类阀门.....	(204)
一、截止阀.....	(204)
二、闸阀.....	(206)
三、其他截断类阀门.....	(210)
四、截断类阀门的比较.....	(211)
第三节 节流阀与减压阀.....	(213)
一、节流阀.....	(213)
二、减压阀.....	(214)
第四节 止回阀.....	(215)
一、升降式止回阀.....	(216)
二、旋启式止回阀.....	(216)
三、蝶式止回阀.....	(217)
第五节 安全阀.....	(217)
一、弹簧式安全阀.....	(217)
二、脉冲式安全阀简介.....	(219)
三、杠杆式安全阀简介.....	(219)
第六节 疏水阀.....	(220)
一、浮子型疏水阀.....	(220)
二、热膨胀型疏水阀.....	(221)
三、热动力型疏水阀.....	(222)
第七节 阀门的型号编制与订货须知.....	(223)
一、阀门的型号编制.....	(223)
二、阀门的订货须知.....	(223)
习题.....	(234)

第十一章 工业锅炉

第一节 锅炉概述

一、锅炉的概念与应用

锅炉是利用燃料或其他能源的热能把水加热为蒸汽（或热水）的设备。它的产物主要是蒸汽，因此锅炉实际上就是蒸汽发生器。从能源转换关系来看，它是将燃料或其他能源转换为热能传递给水蒸汽，因此锅炉又可称为热能转换设备或简称换热设备。

锅炉应用十分广泛，首先火力发电厂要用锅炉生产的高温高压蒸汽去推动汽轮机运转，是发电机的动力源。其次许多工业企业都要自备锅炉，或者用于发电，或者用于供热、供气，或者用于供应热水。例如，机械厂要用一定压力的蒸汽去驱动蒸汽锤、蒸汽泵等以蒸汽为动力的设备进行工作；造纸厂要用蒸汽蒸煮纸浆；纺织厂要用蒸汽烘烤布匹；食品厂要用蒸汽加工罐头；化工厂要用蒸汽进行化学反应。现在，蒸汽的使用已遍及国民经济许多部门，例如现代农牧业生产、水陆交通运输、施工工程、科学实验、乃至日常生活设施等，都需要锅炉为之服务。

为便于理解，首先介绍一下锅炉常用的几个术语：

（一）蒸发量：指锅炉每小时生产的蒸汽重量，又称锅炉容量。它表示锅炉的生产能力，也用来表示锅炉的计量单位。写做“蒸发吨/小时”，或简写为“吨/时”（t/h）。

（二）蒸汽参数：这里指蒸汽压力和蒸汽温度两个数据，有低参数、中参数和高参数之分，与之相应的锅炉称为低压锅炉、中压锅炉和高压及高压以上的锅炉（见三、锅炉的分类）

（三）锅炉热效率：指锅炉有效利用的热量与送入锅炉的全部热量之比值，采用百分比表示。锅炉热效率表示能源被利用的程度。热效率愈高，说明能源被利用的程度愈高。锅炉热效率是评价锅炉的一项重要的经济指标。早期的锅炉热效率只达50%左右，现代工业锅炉的热效率可达80%，其中燃油锅炉可达85%，现代电站锅炉的热效率可高达85~95%。

（四）锅炉率：指一台锅炉所耗用的钢材与其蒸发量之比值，或者说是单位蒸发量所耗用的钢材重量。它是锅炉材料消耗的经济指标。

（五）连续运行时数：指两次检修之间的运行小时数，它是锅炉安全可靠性的指标。

二、锅炉的发展概况

锅炉随着客观需要和技术进步而不断发展。最原始的锅炉如同烧开水的水壶和炉子

那样(见图11-1(1))。从原理上讲,可以把烧开水的水壶和炉子看作最简单的锅炉,水壶就是锅,炉子就是炉。只是这种原始的锅炉受热面积小,传热效率差,大部分热量都随着烟气跑掉了。同时它的锅筒局部受热,产生的热应力很大,容易变形甚至炸

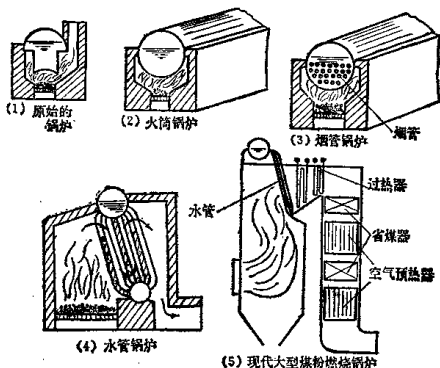


图11-1 锅炉发展过程示意图

坏。于是人们围绕如何提高传热效率、保证安全生产、节约燃料、降低金属耗用率等方面不断对锅炉结构进行改革。图11-1(2)是卧式火筒锅炉,它比原始的锅炉增大了直接受热面积。图11-1(3)是卧式回火管锅炉,它在火筒锅炉的基础上,在锅筒内部增设了烟管,可以利用烟气流过烟管时再对锅筒中的水进行加热,提高了热效率。图11-1(4)是早期的水管锅炉,在它的两个锅筒之间接通许多水管,大大扩大了受热面积,进一步提高了热效率。图11-1(5)是现代煤粉电站锅炉,在它的炉膛四壁布置了与锅筒相通的水管来用作主要受热面积,锅筒却不直接受热,增加了锅筒的耐压能力。同时,以煤粉吹入炉膛内燃烧,强化了燃烧过程,进一步提高了蒸汽参数和热效率。

目前,锅炉发展的主要方向是:进一步向大容量高参数发展,同时正大力研制和发展烧低质煤的锅炉,以及研制多种能源(原子能、太阳能、地热、风力等)的锅炉,还要求进一步提高热效率和进一步减少对环境的污染。

三、锅炉的分类

锅炉可按不同的原则进行分类。

(一) 锅炉按用途可分为以下三类:

1. 电站锅炉。用于火力发电厂,是汽轮发电机组的配套设备。电站锅炉是锅炉品

种中的大型产品,它的特点是高参数;大容量;体积庞大;结构复杂;能充分利用近代锅炉技术的先进成果。

2. 船舶锅炉。用于船舶动力,是随船舶移动的锅炉,由于受安装环境和船舶载重能力的限制,多采用中参数和中等容量。在同等容量下,要求比一般锅炉体积小、重量轻。燃料以燃油为主。

3. 工业锅炉。除上述两类锅炉之外的锅炉,又分一般工业蒸汽锅炉、废热锅炉和热水锅炉三类。通常用于工业生产上供气、供热、供热水和自备发电,也用于建筑物采暖和餐厅烹蒸食物。这类锅炉一般采用低参数、中小容量。蒸汽出口压力不超过25公斤力/厘米²,蒸发量不超过65吨/时。

(二) 锅炉按蒸汽出口压力(这里均指表压力)可分为以下六类:

1. 低压锅炉。压力小于16公斤力/厘米²者。
2. 中压锅炉。压力 >16 公斤力/厘米²至60公斤力/厘米²者。
3. 高压锅炉。压力 >60 公斤力/厘米²至100公斤力/厘米²者。
4. 超高压锅炉。压力 >100 公斤力/厘米²至140公斤力/厘米²者。
5. 亚临界压力锅炉。压力为170公斤力/厘米²者。
6. 超临界压力锅炉。压力在225公斤力/厘米²以上者。

(三) 锅炉按蒸发量可分为以下三类:

1. 小型锅炉^①。蒸发量 <10 吨/时者。
2. 中型锅炉。蒸发量 ≥ 10 吨/时至65吨/时者。
3. 大型锅炉。蒸发量 >65 吨/时者。

本章所介绍的锅炉主要是工业锅炉,但在水蒸汽及燃料燃烧等原理问题上,对各种锅炉也都适用。

第二节 水蒸汽的形成及其热力性质

水蒸汽在锅炉中是传递热量的工作介质,它的形成及其热力性质是锅炉的重要热工理论之一。本节在介绍水蒸汽的一些主要参数之后,概略地叙述水蒸汽在定压下的形成过程和主要的热力性质及其对锅炉的影响。

一、水蒸汽所常用的几个气体状态参数

(一) 压力(p)

压力的定义是:单位面积上所受的垂直作用力。对气体来说这个定义也是适用的,不过气体的压力多是指一定容器内的气体的压力,这是气体分子运动中撞击容器内壁的结果,其方向总是垂直于容器内壁的。

气体的压力可用多种不同的单位表示,工程上采用的单位常是公斤力/厘米²

^①蒸发量 ≤ 1 吨/时者,又称微型锅炉。

(kgf/cm^2)。由于这个单位很接近一个标准大气压^①，所以又称为工程大气压，或简称大气压(at)。工程大气压与其它常用压力单位换算关系如表11-1所示。

表11-1

工程大气压与其它常用压力单位换算关系

工程大气压 公斤力/厘米 ² (at)	标准大气压 (atm)	毫米汞柱 (mmHg)	毫米水柱 (mmH ₂ O)	牛顿/米 ² (N/m ²)	巴 (bar)
1	0.9678	735.6	10 ⁴	98067	0.9807

值得注意的是，容器内气体压力绝对值，很难用压力表测出，一般用压力表所测得的压力读数称为表压力，它是容器内气体绝对压力与当场大气压力的差值。故有：

$$p_{\text{绝}} = p_{\text{表}} - p_{\text{大}}$$

式中， $p_{\text{绝}}$ 表示容器内的绝对压力； $p_{\text{表}}$ 表示表压力； $p_{\text{大}}$ 表示当场大气压力。

采用工程大气压力为压力单位时，绝对压力以ata表示，表压力以atg表示。一般锅炉铭牌或说明书上所用的均为表压力。当表压力较大时，当场大气压力所占的比重甚小，工程上常把当场大气压力简化为一个工程大气压。故有：

$$p_{\text{绝}} = p_{\text{表}} + 1$$

式中压力单位均为工程大气压(公斤力/厘米²)。

(二) 温度(t)

温度是表示物体冷热程度的物理量。随着测温方法不同，有不同的温标。常用的有摄氏温标和绝对温标(又称开氏温标)。前者所测温度称为摄氏度(t)，单位用℃。摄氏度是以标准大气压水的冰点为0℃，沸点为100℃来划分温度单位的。后者所测得的温度称为绝对度(T)，单位用K。绝对温度是以自然界最低极限温度为0K，水的冰点为273.16K来划分温度单位的。摄氏度与绝对度的换算关系是：

$$t = T - 273.16 \quad \text{或} \quad t \approx T - 273$$

(三) 比容(v)

1公斤工质^②所占有的容积称为比容($\bar{v}$)。其定义式是：

$$\bar{v} = \frac{V}{m} \text{米}^3/\text{公斤}$$

式中，V表示工质所占有的容积(米³)；m表示工质的质量(公斤)。

比容的倒数称为密度，以 ρ 表示。

(四) 比嫡(s)

1公斤工质的嫡值称为比嫡(s)。工质的嫡值是从数学计算式中得出的参数。在热力学计算式中我们常遇到 $\frac{dq}{T}$ ，即微元换热量(dq)与绝对度(T)之比。我们称这一

^①标准大气压，又称物理大气压，指纬度45°海平面上常年平均大气压，其值为760毫米汞柱。

^②工质——工程上将传递能量的媒介物质——液体、气体、蒸汽等称为工作介质，简称工质。

比值为比熵的全微分 ds 。故有： $ds = \frac{dq}{T}$ 。因此比熵便是此式的积分。即： $s = \int \frac{dq}{T} + s_0$ 。

上两式中， dq 是工质微元换热量（千卡）； ds 是工质的微元熵增（千卡/K）； T 是绝对度（K）； s 是比熵（千卡/公斤·K）； s_0 是熵常数。

为了看出比熵的物理意义，我们把第一式改写为 $dq = Tds$ 。此式说明换热量乃是温度与熵增的乘积。实验证明，熵乃是热量的一个质量因素，没有熵的改变就没有热量的交换。因此，比熵是工质的一个重要参数。

（五）比内能（ u ）

1公斤工质其分子在热运动中动能和位能之和称为比内能（ u ）。它是贮藏于工质内部的能量。单位千卡/公斤。

（六）比焓（ h ）

1公斤工质具有的内能及其外功之和称为比焓（ h ）。比焓也是从热力学数学式中得出的参数，其定义式是： $h = u + A p v$

式中， h 为比焓（千卡/公斤）； u 为比内能（千卡/公斤）； $A p v$ 为外功，即一公斤工质对外的膨胀功的当量热。其中 p 为压力（公斤·力/米²）； v 为比容（米³/公斤）；

A 为功热当量，其值为 $\frac{1}{427}$

比焓的物理意义是1公斤工质所具有的总能量。

二、水在定压下的汽化过程

锅炉中的水蒸汽，是水在一定压力下加热汽化的产物。为了解这一汽化过程，我们设想一个简单的实验：用一个一端封闭的筒形容器，内盛1公斤水，其上放置活塞，并施以恒定压力 p ，此时加热使水汽化，如图11—2所示。

图11—2（a）是过程的初态，表示处于恒压 p 而为0℃的水。图11—2（b）表示对水从初态加热到沸点，在沸点以前，水的温度随着加热不断上升，但水的比容几乎不变，这种水称为未饱和水。当加热到沸点时，水将沸腾，这时的温度叫饱和温度（ t_s ），处于饱和温度（ $t_b = t_s$ ）的水叫饱和水。图11—2（c）表示对饱和水加热到水与蒸汽共存

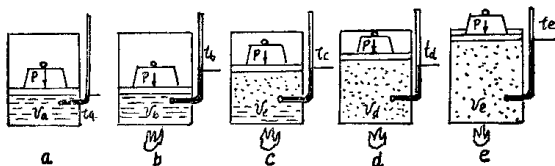


图11—2 水蒸汽在定压下形成示意图

a—未饱和水，b—饱和水，c—湿饱和蒸汽，d—干饱和蒸汽，e—过热蒸汽

的状态。对饱和水加热，饱和水的温度并不上升 ($t_s = t_b$)，只是不断地汽化，这时容器内是饱和水和蒸汽共存状态，称为湿蒸汽状态。图11—2 (d) 表示对湿蒸汽加热到其中饱和水全部汽化为止。当容器中最后一滴水变为蒸汽时，温度仍然是饱和温度 ($t_d = t_s$)，这时的饱和蒸汽称为干饱和蒸汽。图11—2 (e) 表示对于饱和蒸汽继续加热。这时不仅比容 v 随之变大，而且温度随之上升，是为过热饱和温度 ($t_e > t_s$)。处于过热饱和温度的蒸汽称为过热蒸汽。

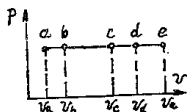


图11—3
水在定压汽化下的压容图

$$w = P (v_e - v_a) \text{ 公斤力} \cdot \text{米} / \text{公斤}$$

式中， w 为一公斤工质的膨胀功（公斤力·米/公斤）， v_e 和 v_a 分别表示初态点与终态点的比容（米³/公斤）， p 表示压力（公斤力/米²）。

膨胀功表示了工质对外界作功的一种能力，由压容图可知，蒸汽参数愈高，则 $p-v$ 图上示功面积愈大。所以电站锅炉采用高参数，以期取得更大的作功能力。

水的等压汽化过程，还常用温度随比焓变化的函数图形表示。这种图称为温焓图，如图11—4所示。图中 a 、 b 、 c 、 d 、 e 各点也是上述五个状态点。曲线 $a-b$ 与其对应 s 轴所围成的面积，反映了一公斤未饱和水从初态到饱和水态所吸收的热量；饱和温度线 $b-d$ 与其对应 s 轴所围成的面积，反映了一公斤饱和水全部汽化所吸收的热量，称为比潜热 (r)；曲线 $d-e$ 与其对应 s 轴所围成的面积，是一公斤干饱和蒸汽加热到过热温度 T_e 时所吸收的热量，称为过热热量。可见温焓图能反映工质吸收热量的全过程和规模。

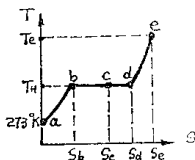


图11—4 水在定压下的温焓图

根据热力学第一定律 可以说明：水在定压汽化时吸收的热量 (q)，一部分转化为工质的内能，使工质内能增加（其值为 $U_e - U_a$ ）；一部分转化为工质的膨胀功（其值为 $p (v_e - v_a)$ ）。因此能量平衡式是： $q = (U_e - U_a) + Ap (v_e - v_a)$

上式展开后可写成：

$$q = (U_e + Apv_e) - (U_a + Apv_a) = h_e - h_a$$

由此可知，水在定压汽化下所吸收的热量等于工质由初态到终态的焓增量。这个结论可以应用于计算锅炉的热效率（见第11章第3节第5小节）

①热力学第一定律是热过程中能量守恒定律。