

中等专业学校交流讲义

內燃机拖拉机与汽車

黄河水利学院机电教研組編

只限学校內部使用



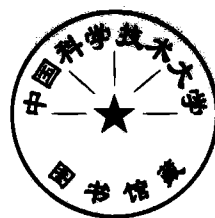
中国工业出版社

中等专业学校交流讲义



内燃机拖拉机与汽车

黄河水利学院机电教研组编



中国工业出版社

全书内容包括三篇，第一篇在理論上闡明了內燃机循环和工作原理，以及压气机工作原理。系統地敘述了我国主要型号的拖拉机与汽車用的內燃机构造、使用和维护，并着重地闡明內燃机的燃料系統、潤滑系統和冷却系統。第二篇扼要地敘述了汽車輪式和履带式拖拉机的底盘部分的构造和操纵、汽車的自动傾卸裝置。第三篇闡述窄軌內燃机車的运行理論及一般构造。

本书可供中等专业学校水利工程机械施工专业和相似专业作为教材之用。

內燃机拖拉机与汽車

黄河水利学院机电教研組編

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店經售

*

开本787×1092¹/₁₆·印張26·插頁1·字数444,000

1961年9月北京第一版·1961年9月北京第一次印刷

印数0001—1,837·定价(9-4)1.90元

統一书号: 15165·924 (水电-146)

序 言

本书是根据1961年3月水利电力部在重庆召开的教材选编会议确定的水利施工机械专业所设的内燃机、拖拉机与汽车课程编写的。教学时数为115~125小时。在编写过程中，注意了充实理论，并结合专业，删除了陈旧的和繁琐的内容，增加了内燃机部分，加强了生产实际方面的知识和尽量反映新的科学技术成就。内容取材上做到结合我国水利水电建设工程中所使用的和我国成批生产的机器型号，因此，本教材能够适应中等专业学校四年制水利施工机械专业和性质相近的专业教学用。三年制的可适当减少。

选用本教材时，建议采用现场教学和课堂教学相结合的办法。

由于我们政治水平和业务能力所限，同时时间仓促，深入现场不够，错误之处希予指正。

黄河水利学院机电教研组

1961年5月

目 录

緒論	5
----	---

第一篇 內 燃 机

第 一 章 內燃机循环、压气机	8
§1-1 工程热力学概論	8
§1-2 压气机	15
§1-3 內燃机的理想循环	19
第 二 章 发动机的工作过程和指标	24
§2-1 发动机的基本概念及主要組成部分	24
§2-2 四冲程发动机的工作	25
§2-3 二冲程发动机的工作过程	29
第 三 章 发动机的实际工作过程及其理論和指标	32
§3-1 进气过程	32
§3-2 压缩过程	33
§3-3 燃烧过程	34
§3-4 膨胀过程	39
§3-5 排气过程	39
§3-6 內燃机的能量指标	40
§3-7 內燃机的特性	42
第 四 章 曲柄-連杆机构	45
§4-1 曲柄-連杆机构的运动学	45
§4-2 曲柄-連杆机构的构造	49
§4-3 曲柄-連杆机构的保养及其故障	64
第 五 章 发动机的配气机构	65
§5-1 配气机构的功用和种类	65
§5-2 配气机构的构造和保养	68
第 六 章 发动机燃料系統	74
§6-1 发动机用的燃料	74
§6-2 燃料供給系統	78
§6-3 柴油机混合气的形成	83
§6-4 噴油泵(燃料泵)	91
§6-5 噴油器(噴油嘴)	98
§6-6 柴油机燃油系統的保养, 故障分析和排除	102
§6-7 汽化器式发动机混合气的形成	103
§6-8 实用汽化器	113
第 七 章 煤气机燃料供应系統	120
§7-1 煤气机燃料供应系統概述	120
§7-2 气化过程	120
§7-3 煤气发生炉的构造	122

§7-4 煤气的冷却与滤清	124
§7-5 煤气机功率的提高	126
第八章 调速器	127
§8-1 调速器的功用和型式	127
§8-2 调速器的工作	127
第九章 润滑系统	132
§9-1 润滑系统的概述	132
§9-2 润滑系统	136
§9-3 润滑系统的主要机件	140
§9-4 润滑系统的保养和故障	143
第十章 冷却系统	145
§10-1 冷却的功用和种类	145
§10-2 水冷却系统	146
§10-3 冷却系统的保护	151
第十一章 拖拉机汽车的电气设备	153
§11-1 蓄电池与发电机	153
§11-2 发电机调节器	155
§11-3 拖拉机电源系	159
§11-4 蓄电池点火系统	160
§11-5 磁电机点火系	169
§11-6 启动系	174
§11-7 照明仪表系	180

第二篇 拖拉机和汽车的底盘

第十二章 拖拉机和汽车的传动装置	183
§12-1 传动装置的作用及其组成部分	183
§12-2 离合器	183
§12-3 万向节传动轴	196
§12-4 变速箱	200
§12-5 拖拉机和汽车的后桥	211
第十三章 拖拉机和汽车的车架与行走装置	227
§13-1 车架	227
§13-2 链轨式拖拉机的行走装置	229
§13-3 汽车和轮式拖拉机的行走装置	239
第十四章 轮式拖拉机和汽车的操纵机构	248
§14-1 轮式拖拉机和汽车的转向装置	248
§14-2 汽车和轮式拖拉机的制动装置	254
第十五章 拖拉机和汽车的附属设备	261
§15-1 拖拉机和汽车的牵引装置	261
§15-2 动力输出机构	262
§15-3 汽车的卸载机构	264
§15-4 拖拉机和汽车的驾驶机构和仪表	265

第十六章 拖拉机和汽车的操纵	267
§16-1 拖拉机的操纵	267
§16-2 汽车的驾驶	273

第三篇 窄軌鉄路的內燃機車

第十七章 列車运行的理論	277
§17-1 列車运行的基本方程式	277
§17-2 牽引力	278
§17-3 列車运行的靜阻力	279
§17-4 列車运行的動阻力	280
§17-5 制動力	280
§17-6 列車运行方程式的分析	282
第十八章 內燃機車的構造	283
§18-1 內燃機車的一般構造与技术性能	283
§18-2 机械傳动的傳动机构	283
§18-3 底盤結構	291
§18-4 內燃機車的操纵方法	294
第十九章 內燃机拖拉机和汽车的試驗	296
§19-1 发动机的測功試驗	297
§19-2 发动机示功图試驗	302
§19-3 汽化器的檢定	305
§19-4 柴油机供油設備的試驗	309
§19-5 拖拉机牽引試驗	314

緒 論

一、內燃机、拖拉机与汽車对国民經济发展的意义

我国人民在中国共产党的英明领导下，在三面紅旗的光輝照耀下，以及苏联和其他兄弟国家的无私帮助下，辛勤劳动，使我国社会主义建設事业突飞猛进地向前发展。經過 1958 年和 1959 年的連續大跃进，我国人民已經提前三年完成了第二个五年計劃的主要指标，使我国社会主义建設进入了新的阶段。特别是党中央和毛主席提出发展国民經济以农业为基础，以工业为主导。在优先发展重工业的同时，以强大的現代技术武装农业，尽快地实现农业四化，为提前实现 1956 年到 1967 年全国农业发展綱要創造条件。水利水电建設与工、农业发展有密切的关系，水利是农业的命脉，电力是工业的先行。因此，必須在水利水电建設中，广泛采用机械化施工方法，提高劳动生产率，这不仅能加速建設，还可以节约大量劳动力来支援农业。

內燃机、拖拉机与汽車，由于它們的效率高，消耗鋼材少，起动迅速，操作簡便等优点，是机械化施工和农业机械的主要动力之一，是水利水电基本建設中必备的机械，特別在流动性作业方面，用得更为广泛。

二、我国內燃机、拖拉机与汽車的发展概况

解放前，在帝国主义、封建主义、官僚資本主义长期統治下，我国的机器制造工业极为薄弱。解放后，在中国共产党的领导下，我国內燃机、拖拉机和汽車工业从修配到大批生产，得到巨大的发展。1950年12月国营山西机器公司制成25馬力的拖拉机，1951年国营天津汽車制配厂制出了第一台四缸汽車、1952年国营西安第一汽車制配厂制出六缸內燃机，1956年現代化設備的第一汽車厂开始生产汽車，1957年第一拖拉机制造厂开始生产拖拉机，1958年大跃进以来，全国还制成內燃機車、自卸汽車、重型汽車、大功率內燃机等。此外，塑料車身及空气悬挂等的試制也都已获得相当成果。

三、內燃机、拖拉机与汽車在水利工程中的重要性

內燃机是燃料直接在气缸中燃燒的原动机，燃燒后的热能通过活塞、曲柄等轉換成机械功。

內燃机較蒸汽机有很大的优点，它的經濟性高(內燃机的經濟效率为0.2~0.45，蒸汽机为0.09~0.14)，单位重量小(每一有效馬力所占的重量及单位馬力大(单位工作容积发出的馬力))。內燃机在水利建筑工地中广泛采用。

水利建筑施工中的特点，是工地現場变动大，交通運輸不方便，缺乏电力和劳动力。內燃机是水利建筑施工中的重要动力。汽車工地主要的交通運輸工具。汽車的机动性能好，容易管理。近来重型自卸汽車愈来愈多，使施工中運輸量大大增加，适应施工需要。內燃機車由于投資費用大，机动性比不上汽車，但其運輸量大，運費低，常被采用于大型施工現場及矿山中。

四、拖拉机、内燃机和汽车的分类及其主要组成部分

拖拉机、汽车和内燃机分类的方法很多，现介绍常用的方法。

(一) 拖拉机分类

1. 按用途分类

①农用拖拉机；②运输用拖拉机；③特殊用途拖拉机，如森林沼泽地区用的拖拉机。

2. 按行走装置分类

①轮式拖拉机；②链轨式拖拉机。

(二) 汽车分类

1. 按用途分类

①小客车；②大客车；③载重汽车；④自卸汽车；⑤特种汽车，如洒水车，消防车，防护车等。

2. 按燃料分类

①汽油汽车；②柴油汽车；③煤气汽车。

3. 按载重吨位分类

①小型载重汽车（0.75~2.5吨）；②中型载重汽车（3~4.5吨）；③大型载重汽车（5~12吨）；④特大型载重汽车（12吨以上）。

(三) 内燃机的分类

1. 按燃料着火方法分类

①压燃式发动机——利用进入气缸中被压缩的空气热量来着火；

②电火花点火式发动机——利用外源电气点火设备对混合气点火。

2. 按冲程数目分类

①二冲程发动机——发动机完成一次循环，活塞运动二次冲程；

②四冲程发动机——发动机完成一次循环，活塞运动四次冲程。

下表为几种常用拖拉机、汽车的性能表。

几种牵引拖拉机的技术性能资料

拖拉机牌号	用途类别	行走装置型式	发 动 机		燃料消耗率 (克/马力·小时)	前进速度变化范围 (公里/小时)	重 量 (吨)
			型 式	功 率 (马力)			
红旗-80	通用式	链轨式	柴油机	93	205~220	2.25~9.65	11.40
东方红-54	通用式	链轨式	柴油机	54	205	3.59~7.9	5.400
KДП-35(苏联)	万能式	链轨式	柴油机	37	202	1.75~5.5	3.700
铁牛-40	万能式	轮胎式	柴油机	40	200~210	4.16~12.95	3.250

几种国产汽车简明技术性能资料

汽车牌号	气缸容积 (升)	功率 (马力)	载重量 (吨)	座位数	最大车速 (公里/小时)	燃油消耗 (升/百公里)
载重汽车:						
解放CA-10型	5.550	90	4.0	—	65	29
跃进NJ-130型	3.480	70	2.5	—	70	6.9~9.5
跃进NJ-120型	2.120	52	1.5	—	77	5.2~6.22

五、拖拉机、汽车的主要组成部分

(一) 发动机

发动机是拖拉机与汽车的动力源泉，大多数安装在车辆前部。

(二) 传动装置

传动装置是将发动机的动力传给驱动轮和各种传力输出装置，包括：离合器，变速箱，传动轴，差速器，等部分。

(三) 车架和行走装置

车架用于支持发动机和各种装置，行走装置有轮式和链轨式两种。

(四) 操纵装置

操纵装置包括转向操纵和制动系统两部分。

(五) 附属装置

附属装置包括动力输出轴，自动卸货机构，牵引悬挂的装置，以及照明设备等。

第一篇 內 燃 机

第一章 內燃机循环、压气机

§1-1 工程热力学概論

一、基 本 概 念

工程热力学是热力学的一部分，热力学是研究各种能量之間的轉換情况的科学。它主要任务是研究由热能轉化为机械功的規律，从而应用这个規律。

(一)热力学第一定律，当量原理

度量热量的单位是千卡(或大卡)。1千卡热量即1公斤的純水在标准大气压力下，温度从19.5°C升高到20.5°C所需吸收的热量。

度量功的单位是公斤·米，它是力和物体沿着力的方向所行的距离的乘积。单位時間所做功的数量以功率表示，它的单位是馬力和瓩。

1 馬力 = 75 公斤·米/秒：1 瓩 = 102 公斤·米/秒。

一小时內机器所做的功率称为瓩小时或馬力小时。

1 馬力小时 = $75 \times 3,600 = 270,000$ 公斤·米。

1 瓩小时 = $102 \times 3,600 = 367,200$ 公斤·米。

热力学第一定律的基本內容，就是能量守恒定律，經過无数次試驗証明，热可以轉換成机械功，而机械功也可以轉換成热，它們二者之間互相轉換的关系永远保持一定不变的当量比例。当量比例为：

$$A = \frac{Q}{L} = \text{常数}.$$

或

$$Q = AL.$$

式中 Q ——轉变为功的热量，大卡；

A ——功的热当量，大卡/公斤·米；

L ——轉变为热量的机械功，公斤·米。

热力学第一定律的基础是当量定律，轉換成一公斤·米机械功的热量叫功的热当量，用 A 表示，其数值等于 $1/426.45$ 大卡/公斤·米。又轉換成一大卡热量的功叫做热的功当量，用 B 表示， $B = \frac{1}{A}$ ，其数值为 426.45 大卡/公斤·米。在近似計算中取 $B = 427$ 。

如 1 馬力·小时或 1 瓩·小时的相当热量計算如下：

$$1 \text{ 馬力} \cdot \text{小时} = \frac{270000}{427} = 632, \text{ 大卡},$$

$$1 \text{ 瓩} \cdot \text{小时} = \frac{367200}{427} = 860, \text{ 大卡}.$$

(二)工质，气体参数

利用热能来得到机械功，必須通过一种做功的媒介物来完成。这种媒介物叫做工

质，内燃机的工质是混合气体。工质做功是依靠它的热力状态的改变而获得。气体的热力状态可以用它的温度、压力和比容来说明。这三个因素都是决定工质热力状态的参数，简称为气体参数。实际上，气体参数并不只是这三个。这三个是最基本的。

气体的温度、压力和比容之间还存着一定的依存关系，三个参数中任意固定两个，则第三个数值就不能改变，因此气体的热力状态就跟着被固定。反过来说，气体状态发生改变时，并不一定要所有的气体参数都发生变化，可以有一个参数维持常数。每一种气体状态都有一定的各种气体参数的数值，必须用两种独立的气体参数的数值才能真正确定气体热力状态。

1. 温度：温度表示工质的冷热程度，在用摄氏表计量时，温度以 $t^{\circ}\text{C}$ 来表示；在绝对温度为标准时，则用 $T^{\circ}\text{K}$ 表示。绝对温度 T° 与摄氏温度 t 的关系是 $T = t + 273$ 。热量传递只能从高温到低温处。

2. 压力：压力是工质对于单位面积的容器壁上所作用的力，工程上采用的单位是公斤/厘米²，在物理学上，常取 0°C 时，北纬 45° 海平面处的大气压力为标准大气压力。它们的关系如下：

$$1 \text{ 气压(物理)} = 760 \text{ 毫米汞柱} = 1.0332 \text{ 公斤/厘米}^2.$$

在工程上，常用 $1 \text{ 气压} = 1 \text{ 公斤/厘米}^2$ ，以利于计算。1 气压的数值在工程上用的比物理学上用的要少一些，如下：

$$1 \text{ 气压} = 0.968 \text{ 气压(物理)} = 735.6 \text{ 毫米汞柱(物理)} = 10 \text{ 米水柱}.$$

压力表示法有三种，即绝对压力，表压力和真空度。绝对压力是从绝对真空压力起算的压力的绝对数值；表压力是表示压力比当时的大气压力高多少；真空度表示压力比当时的大气压力低多少。因此，用表压力和真空度来表示压力时，必需附带给出当时大气压力的数值。压力用 P 代表。用公式来表示它们的关系： $P_{\text{绝对}} = P_{\text{大气压}} + P_{\text{表压力}}$ 。

如果绝对压力小于大气的压力，用下述关系式： $P_{\text{绝对}} = P_{\text{表压力}} - P_{\text{真空压力}}$ 。

3. 比容：比容是单位重量的工质所占的容积，以工质为 G 公斤，总容积为 V 立方米，则其比容 v 为

$$v = \frac{V}{G} \text{ 米}^3/\text{公斤}.$$

比容 v 的倒数，即单位容积的工质的重量。叫做比重，或重度，用 γ 表示。

$$\gamma = \frac{1}{v} = \frac{G}{V} \text{ 公斤/米}^3.$$

(三) 比热

G 公斤的工质温度再升高一度，所需吸收的热量称为热容量，其单位大卡/度。热容量不仅和工质的性质有关，而且和工质的重量有关。工质热容量和同重量纯水的热容量之比，称为工质的比热，用 C 代表。纯水的比热为 1 (大卡/度·公斤) 所以工质的比热和单位重量工质的热容量在数值上相等。

G 公斤的工质升高温度 $\Delta t^{\circ}\text{C}$ 时所需的热量为：

$$Q = GC \Delta t \text{ 大卡}.$$

对工质加热，可以产生两种不同效果，温度升高和膨胀对外做功。在一定的容积下对工质加热和在一定的压力下对工质加热时所需的热量不相同。同样温度升 1°C ，定压

下所需吸收的热量要比定容时多。所以工质的比热有定压比热(用 C_p 代表)和定容比热(用 C_v 代表), 而 $C_p > C_v$ 。为了计算方便, 比热常被当作是常数。实际上气体的比热并不是常数, 而是随着气体的状态而改变, 这里不详述。

(四) 工质, 膨胀功的图示法

一定量的工质, 在气缸内膨胀, 会推动毫无摩擦阻力的活塞而对外做功。如果气缸内气体的压力在某一瞬间是 P 公斤/米²。活塞的面积是 F 米², 则活塞上所受的力是 PF 公斤。又当活塞在这期间内移动微小距离 ds 米, 则活塞对外所做的微小功 dL 为:

$$dL = PFds, \text{ 公斤} \cdot \text{米}.$$

Fds 表示在这时间内气体容积 V 的增加量 dV 。

即
$$dL = PdV.$$

气体的状态由初态 1 改变到终态 2 (图1-1), 它的容积由 V_1 改变到 V_2 。气体对外所做的膨胀功为:

$$L = \int_1^2 dL = \int_{V_1}^{V_2} P dV. \quad (1-1)$$

对于每一公斤的工质而言(其容积 V 改为比容 v)膨胀功为:

$$l = \int_{v_1}^{v_2} P dv. \quad (1-2)$$

工质的热力状态由两个变数来决定, 压力 P 和比容 V 之间有着什么关系, 以这关系代入式(1-2)中积分可求到膨胀功。

例如: 当 $P = \text{常数}$ 时, 其膨胀功

$$l = \int_{v_1}^{v_2} P dv = P \int_{v_1}^{v_2} dv = P(v_2 - v_1).$$

我们常用压力 P 和比容 V 两个独立参数来确定工质的热力状态, 以 P - V 划成坐标图(图1-1), 图上任何一点都表示工质的一个确定的气体热力状态。将许多点可以联成一曲线, 它代表着工质所遵循的整个变化过程。

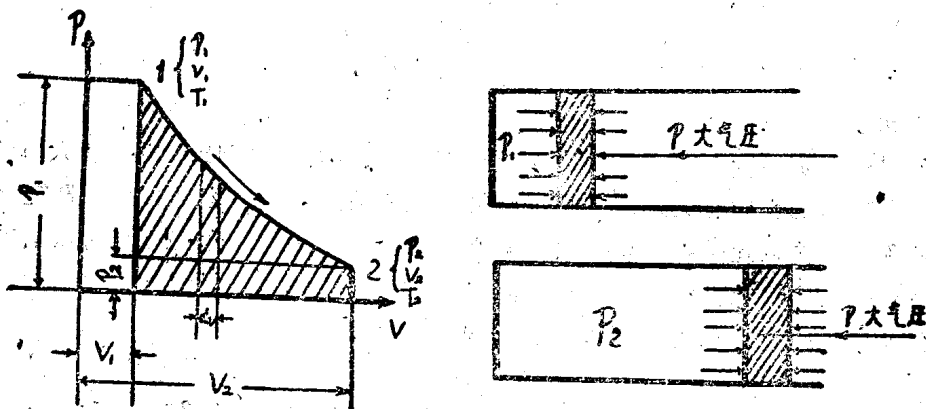


图1-1 P - V 图

工质对外膨胀所做的功，按公式(1-2)积分的概念：从初态1到终态2，在图1-1中1-2曲线，下面的一块面积来代表。所以 $P-V$ 图上面积能够代表功，称为示功图。

当工质不是进行膨胀，而是被外界所压缩时，即图1-1中沿着反方向，从2态到1态。工质接受了外界对它所做的压缩功。压缩功的计算仍可用公式(1-2)，但是计算出来的功是负值。

(五)内能，热力学第一定律的表述

气体受热后，温度增加，容积膨胀。温度增高表示工质分子的运动以及分子内部的更复杂的运动的剧烈程度增加，也就是工质内部的势能增加。因为工质必须吸收一部分能量才能使分子之间抵抗内聚力而把距离拉长。工质内部的动能和势能之和叫做工质的内能。所以工质的内能就是工质在某种热力状态下内部储藏的能量，工质的状态确定了，它的内能也就跟着被确定，所以内能是压力，温度，比容之外的另外一个热力参数。单说明工质内能的多少，也还是不足以确定地描绘出工质的热力状态。

一般用 u 来代表一公斤重量的工质的内能，它的度量单位是大卡/公斤。对于 G 公斤的工质的总内能用 U 代表，度量单位是大卡， u 和 U 的关系 $U = Gu$ 。

工质所含有内能的多少，是比较的说法。工质内能的绝对数值是很难决定的。工程热力学是只讨论能量的转换，所以只说明内能的变化量。假定工质的内能在 $t=0^\circ\text{C}$ ， $P=1.0332$ 公斤/厘米² 时的值等于零，并以这个零值作为比较的标准。

热力学第一定律告诉我们：热和功都是能的一种形式，它们可以彼此互相转换，而且有着一个当量的关系。

当向 G 公斤气体导入热量 Q 时，气体发生膨胀，作了外功 L ，气体内部温度升高，气体的内能增加，用 ΔU 代表 (Δ 表示增量)。根据热力学第一定律，内能 ΔU 的变化如下公式表示

$$\Delta U = Q - \Delta L; \quad (1-3)$$

或

$$Q = \Delta U + \Delta L.$$

对于一公斤气体来说，则公式改为

$$\begin{aligned} \Delta u &= q - \Delta l; \\ q &= \Delta u + \Delta l. \end{aligned} \quad (1-4)$$

在发生微小变化的过程中，则为

$$\begin{aligned} dU &= dQ - \Delta dL; \\ du &= dq - \Delta dl. \end{aligned}$$

Δu 的正负值将随着 $Q - \Delta L$ 的正负而定。气体的温度升高，其内能变化 Δu 取作正值。

公式(1-3)就是热力学第一定律的数学表示法，习惯上称为热能基本方程式，说明定量工质(气体)所接受的热量，一部分用于增加内能，其余部分用于作膨胀功。

二、气体的基本热力过程

研究气体的热力状态的变化，可以首先研究在保持一个参数不变的状态下，使其余的两个参数改变的热力状态变化过程，即下列四种过程：

1. 比容保持不变的过程——定容过程。
2. 压力保持不变的过程——定压过程。
3. 温度保持不变的过程——定温过程。
4. 气体不获得和不放出热量的过程——绝热过程。

在此基础上，再进而研究多变过程。

(一) 定容过程

这个过程的方程式是 $V = \text{常数}$ ，它说明了实施这过程的条件，用图解来表示如图1-2，这是平行于纵坐标轴的直线，这直线叫做定容线，当加入热量时，压力增高，容积不变，因此终态点2的位置在初态点1之上。

在气体参数的关系式中，也取初态为1和终态为2，得：

$$P_1 V = RT_1 \text{ 和 } P_2 V = RT_2,$$

得到

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}. \quad (1-5)$$

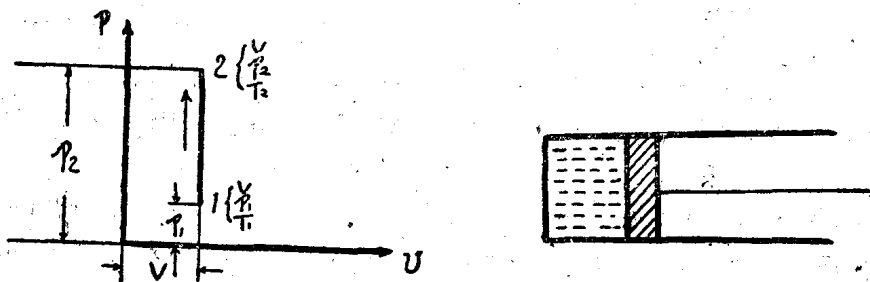


图 1-2 定容过程

这方程式合乎查理士定律所给的公式。

V 为常数，容积不产生变化，因此外功为零，其热能基本方程式为

$$q = \Delta u + Al,$$

因

$$l = 0,$$

则

$$q = \Delta u.$$

(1-6)

当工质为理想气体时， $q = C_v(T_2 - T_1)$ 。

(二) 定压过程

定压过程的方程式是 $P = \text{常数}$ ，定压过程用平行于横坐标的直线表示，这直线叫做定压线，如图1-3。

过程的变化可用初、终两端状态的气体方程式表示

$$PV_2 = RT_2 \text{ 和 } PV_1 = RT_1,$$

得到

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}. \quad (1-7)$$

由公式(1-7)看出，在定压过程中，合乎给吕萨克定律所给出的公式。它的热能基本方程式为

$$q = \Delta u + Al.$$

当工质为理想气体时:

$$l = P(V_2 - V_1),$$

因为 $P(V_2 - V_1) = R(T_2 - T_1).$

气体膨胀功也可用直线围成的面积 1-2-3 来确
定。

$$\begin{aligned} q &= C_p(T_2 - T_1) + AR(T_2 - T_1) \\ &= (C_p + AR)(T_2 - T_1). \end{aligned}$$

(三) 定温过程

定温过程服从于波义耳-马耳耶特定律, $T =$
常数, 则气体比容和压力成反比例。

即 $P_1 V_1 = P_2 V_2 = \text{常数}$

根据各个已知压力的数值, 可以按上列公式, 求出它的相对应的比容, 在图 1-4 中
划出各点, 再将各点联成一曲线, 这曲线是一等边双曲线, 称定温线。

从图 1-4 看出, 当加入热量时, 气体进行膨胀, 在放热时, 气体进行压缩, 才能够
保持它的定温状态。实际上, 定温过程是难以实现的, 只不过与定温相接近。

这过程的热能基本方程式

$$q = \Delta u + Al.$$

因为

$$\Delta u = 0, \text{ 则}$$

$$q = Al.$$

气体膨胀功 l 就是面积 1-2-3-4。根据积分方法计算定温过程的气体膨胀功如下:

$$l = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P_1 V_1 \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}. \quad (1-8)$$

因为 $P_1 V_1 = RT$, 则

$$l = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = RT \ln \frac{P_1}{P_2}.$$

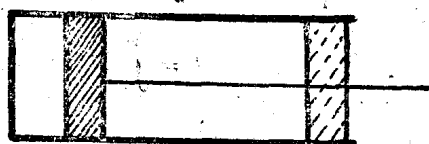
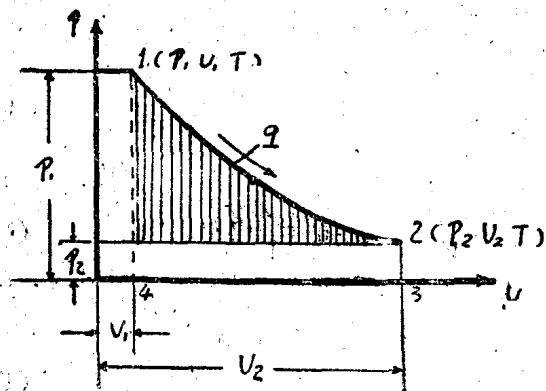


图 1-4 定温过程

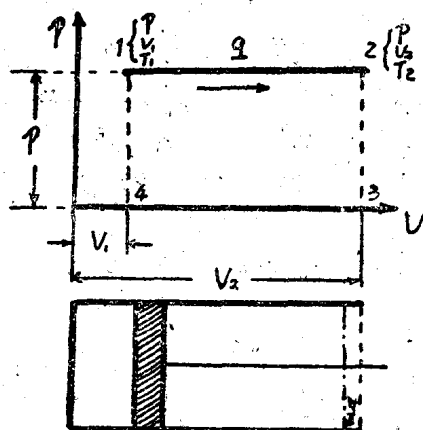


图 1-3 定压过程

(四) 絕热过程

絕热过程的特点是工质和外界沒有任何热量交换, 当工质和外界之間有着极良好的絕热材料相隔离, 或者过程的进行非常迅速, 来不及順利地发生热量的交换时, 工质所发生的热力变化就可以当作是絕热过程。

对于微小的热量变化, 由公式 (1-4) 来求。

$$dq = du + Adl.$$

在絕热过程中, $dq=0$, 理想气体的 $du = C_v dT$ 和 $dl = PdV$, 代入上面公式为

$$C_v dT + APdV = 0,$$

或

$$C_v dT + APV \frac{dV}{V} = 0.$$

因 $PV = RT$, 則

$$C_v dT + ART \frac{dV}{V} = 0.$$

改写成

$$\frac{dT}{T} + \frac{AR}{C_v} \cdot \frac{dV}{V} = 0.$$

而 $C_p - C_v = AR$ 称为梅逸公式

故上公式

$$\frac{dT}{T} + \left(\frac{C_p}{C_v} - 1 \right) \frac{dV}{V} = 0.$$

其中 $\frac{C_p}{C_v} = k$, 比值 k 称为絕热指数。

于是上式成为:

$$\frac{dT}{T} + (k-1) \frac{dV}{V} = 0.$$

从初态 1 积分到終态 2 (图 1-5) 可得 (积分演算略):

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1}.$$

因为 $PV = RT$, 上式乘以 R , 則

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^k,$$

或

$$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k = PV^k = \text{常数}. \quad (1-9)$$

气体在絕热过程中所作的外功为

$$l = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P_1 V_1^k \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^k} = \frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{k-1} \quad (1-10)$$

因 $PV = RT$, 改写成

$$l = \frac{R(T_1 - T_2)}{k-1}. \quad (1-11)$$

由于 $q=0$, 其热能基本方程式