

简明制冷技术与电冰箱

刘宝魁 编著

科 学 出 版 社

1987

第一章 制冷技术概论

一、制冷技术发展历史

在我国历史上,人们在冬季将天然冰贮藏在地窖内,留待夏季时使用。这说明我国劳动人民很早以前就懂得了利用“冰”来保存食品的道理。1820年第一次人工造出了冰。1910年以后作出了第一台小型制冷设备(家用冰箱)。到1918年才正式生产开启式家用电冰箱。1920年出现了封闭式电冰箱,直到1930年以后才大量生产。1927年出现了家用吸收式制冷机。这些发展都是劳动人民在科学技术的进展中取得的。

旧中国的制冷工业,大都是帝国主义为了掠夺我国的农产品而建立的一些冷藏库和制冰厂。也有一些小型制冷设备,如家用电冰箱和空气调节机,这只是为统治阶级所享用而已。至于从大型到小型的制冷设备,全部都依赖于进口,自己不能生产。国内只有沿海几个大城市,开办一些修配工厂,对进口的制冷设备搞一些简单的修配工作。

全国解放后,在党的正确领导下,三十多年来,我国的制冷工业有了飞速的发展,已能独立地设计和制造各种类型的制冷设备,以满足工业、农业、医药卫生、商业、食品、科研、出口和人民生活的需要。相信在党的正确领导下,我国的制冷工业一定会更加迅猛地向现代化发展。

二、冷却的物理意义和制冷技术的研究内容

冷却,就是除去物体的热量。这一过程往往和温度的降低同时发生。任何物体都可以从另一物体夺取热量,但该物体的温度必须低于被夺去热量的物体的温度。因为热量只能从温度较高的物体传导到温度较低的物体。因此自然冷却的程度只能使被冷却物体的温度达到周围介质的温度,例如达到水或空气的温度为止。但是,水和空气的温度是随季节而变化的,所以在冬季可以将物体自然冷却到较低的温度,而在夏季冷却达到的温度则较高。要想把一物体的温度降低到比它周围介质的温度更低,只能借助于人工的方法才能达到。人工冷却不受季节的限制,能够达到各种不同的冷却温度。

制冷技术就是研究人工冷却的科学。其研究范围包括:制冷过程,制冷过程的热力学原理和传热学原理,以及制冷机器与设备的构造、性能、操作与维修等技术。

三、制 冷 原 理

制冷技术是一门利用某些物质的状态(聚焦态)改变是在较低的温度下进行,且在状态改变中能吸收较大量的热量的技术。如物质下述的三种基本特性。

(一) 融解

固体吸热后变为液体叫做融解。例如冰(应用最广)在融解时的温度为 0°C , 且每公斤可吸收 $80\text{kcal}^{1)}$ (千卡)的热量。

1) $1\text{ cal (卡)} = 4.1868\text{ J (焦耳)}$ 。

(二) 升华

某些物质的固体吸热后不经过变为液体而直接变成气体，这种现象称为升华。在制冷中已经应用的主要是 CO_2 的固体(干冰)。这种干冰在通常大气压下的升华温度为 -78.9°C ，且在升华过程中每公斤约能吸收 137kcal 的热量。

(三) 沸腾

液体吸热达到沸点温度之后开始沸腾，再吸收汽化潜热后变成汽体。制冷中应用最广的是氨 (NH_3)、氟利昂 12 (CF_2Cl_2) 和氟利昂 22 (CHF_2Cl)。氨在标准大气压下的沸点温度为 -33.4°C ，每公斤沸腾汽化过程中约需吸收 327.5kcal 的热量。氟利昂 12 在标准大气压下的沸点温度为 -29.8°C ，每公斤沸腾汽化过程中约需要吸收 39.95kcal 的热量。氟利昂 22 在标准大气压下的沸点温度为 -40.8°C ，每公斤沸腾汽化过程中约需吸收 56kcal 的热量。近年来出现了一种新的制冷剂氟利昂 502 (氟利昂 22 和氟利昂 115 的共沸混合物)，由于它具有一些特殊的优点，已逐渐应用到制冷工业中来，它在标准大气压下的沸点温度为 -45.6°C ，每公斤沸腾汽化过程中约需吸收 92kcal 的热量。

四、制 冷 方 法

在实际制冷技术中，主要是利用某些物质的沸腾原理来进行制冷。常见的有以下三种方法。

(一) 蒸汽压缩式制冷

蒸汽压缩式制冷系统，主要由压缩机、冷凝器、节流阀和

蒸发器四大部分组成。目前应用最广的压缩机是活塞式压缩机，其制冷系统原理图，如图 1-1 所示。它的制冷循环过程是：来自冷凝器的高温高压制冷剂液体经节流阀进入蒸发器沸腾吸热后，变成低温低压的制冷剂蒸汽，接着由压缩机吸入并压缩成高温高压的制冷剂蒸汽后排入冷凝器；高温高压制冷剂蒸汽在冷凝器中冷凝放热后变成高温高压的液体，又重新进入节流阀形成制冷循环。

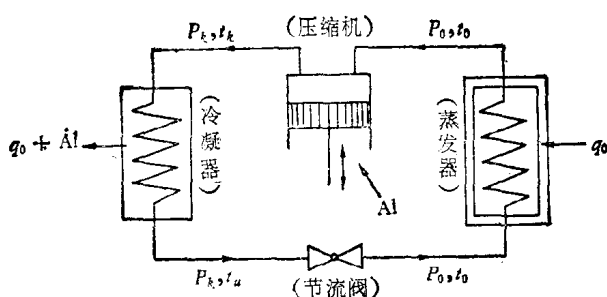


图 1-1 蒸汽压缩式制冷原理图

一般的电冰箱、低温箱、冷库、冷风机等，都是根据这种制冷循环原理制成的。

（二）吸收式制冷

吸收式制冷与压缩式制冷不同，它只需直接消耗热能就能工作。但热能的取得只有在利用煤气的情况下才是经济的，若采用电热，则电能的消耗量要比压缩式制冷大 2 至 5 倍。吸收式制冷系统的循环原理图，如图 1-2 所示。吸收式制冷机中，常采用氨水为制冷剂，其工作原理是：来自蒸发器的沸腾吸热后的氨蒸汽流入吸收器，使来自发生器的低浓度氨水吸收氨蒸汽后变成高浓度的氨水。通过与发生器的连通管，依靠氨水浓度的不同而流入发生器中。经热源加热，氨汽从

发生器中分离出来进入冷凝器冷凝放热后，变成氨液进入蒸发器重新沸腾吸热又变成氨汽再流入吸收器中，形成制冷循环。在实际系统中常常充入中性气体——氢作为扩散剂。

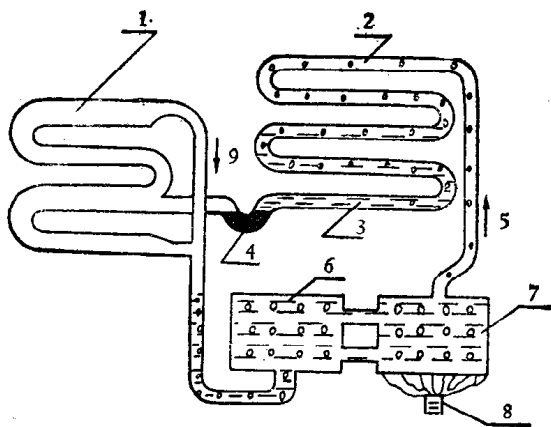


图 1-2 吸收式制冷原理图

- 1——蒸发器；2——冷凝器；3——已凝液体；4——弯形贮液管；
5——热氨汽上升；6——吸收器；7——发生器；8——热源；
9——已蒸发氨汽向下流动。

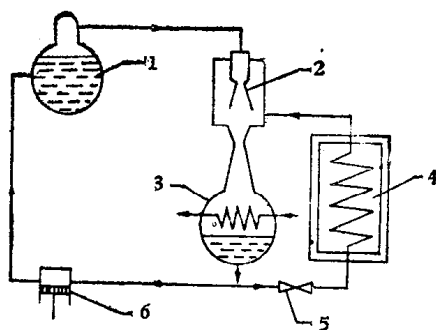


图 1-3 蒸汽喷射式制冷原理图

- 1——锅炉；2——喷射器；3——冷凝器；4——蒸发器；
5——调节阀；6——泵。

(三) 蒸汽喷射式制冷

这种制冷循环系统的原理图,如图 1-3 所示。在这种装置中,从锅炉中来的高压蒸汽进入喷射器,通过喷嘴的作用,形成高速低压蒸汽流。此蒸汽流从蒸发器内带出水蒸汽,而使蒸发器内的压力逐渐减低,形成一定的真空,因而使蒸发器内的水在较低温度下沸腾吸热,形成制冷作用。很明显这种制冷方法所得到的沸腾温度不可能低于 0°C 。这种制冷方式多用在大面积空气调节设备上。

五、制冷在国民经济各部门中的应用

(一) 制冷在食品工业中的应用

制冷在肉类、乳类、鱼类、蛋类、水果和蔬菜等易腐食品的生产、运输和保藏过程中的应用极为广泛。在低温下,因可使食品产生腐败变质的微生物的活动能力和生化反应都受到抑制,故可使食品得以长期保藏,且可最大限度地保持易腐食品的新鲜状态和香味,使营养成分的损失降低到最低限度。

(二) 制冷在化学工业中的应用

制冷在化学工业中是非常重要的,例如用冷来液化蒸汽和其他气体,分离混合的液体或气体、盐类的结晶以及其他很多化工原料的制造过程中都常常利用制冷技术。

(三) 制冷在制药工业中的应用

制药工业中在许多制剂的生产工艺过程中需用到制冷技术,如浓缩溶液、提取或晶析某些盐类,都需使用制冷的成套设备。

(四) 制冷在医疗保健事业中的应用

医疗中所用的很多药品需在 $4\sim 10^{\circ}\text{C}$ 的温度下保存。牛痘疫苗和一些有机制剂需在 $0\sim 5^{\circ}\text{C}$ 的温度条件下保存, 以及为了医疗和科研等的需要对尸体进行低温保存。这些都需要使用与其要求相适应的制冷设备。

(五) 制冷在科学研究中的应用

如研究低温对某些物质的影响, 低温对建筑隔热材料、金属材料、橡胶制品等的作用, 研究某些发动机在低温条件下的工作状况, 检查低温条件下各种航空仪表的正确性, 以及各种科研工作中所需的低温试验室和人工气候室。

(六) 制冷在其他方面的用途

- (1) 人造滑冰场。
- (2) 家庭用电冰箱, 冷藏柜, 低温冷藏箱。
- (3) 运输用冷藏汽车、冷藏火车、冷藏轮船等。
- (4) 钢铁热处理中的低温处理。
- (5) 矿井中的冻土护壁。
- (6) 农业中利用低温, 经过专门培植, 可培育出耐寒的新品种等。

由上述情况看出, 随着祖国社会主义建设事业的日益发展和四个现代化的要求, 制冷技术的应用将更为广泛, 制冷技术本身也将更加日新月异得到发展。

第二章 制冷技术的理论基础

一、热力学的基本参数

(一) 热

热是能量的一种表现形式。根据物质的构造学说,一切物体都是由极微小的分子和原子所组成,这些分子和原子在不停地作无规则的运动,这种运动便形成了热能,又称为热运动。

(二) 温度

温度是物体含热程度的度量。对气体来说是气体分子运动平均动能的度量。

1. 温度的两种度量方法 在工程中常用以下两种方法进行度量:

(1) 摄氏温度: 又称为国际百度温标,以 $^{\circ}\text{C}$ 表示。摄氏温度是指在标准大气压下,以水的冰点作为 0°C ,沸点作为 100°C ,中间分成一百等分,其中每一等分称为 1°C 。

(2) 华氏温度: 以 $^{\circ}\text{F}$ 表示。它的刻度方法是指在标准大气压下,以水的冰点作为 32°F ,沸点作为 212°F ,中间分成180等分。其中每一等分称为 1°F 。

(3) 摄氏温度和华氏温度的关系: 从它们的刻度规定中很容易推导出下列关系。

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (t^{\circ}\text{F} - 32^{\circ})$$

$$t^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} t^{\circ}\text{C} + 32^{\circ}$$

2. 绝对温度 在热力学的计算中,常采用这种温度。它是指在标准大气压下,以气体分子停止运动时作为起点,称为0K,则绝对零度比水的冰点低273°C。若绝对温度以 T 表示,则,

$$T = (t^{\circ}\text{C} + 273^{\circ})\text{K}$$

(三) 热量

热量是含热多少的一种度量。在工程上它的度量单位有下述两种。

(1) 公制单位: 以千卡(kcal)为基本单位,所谓1千卡系指将1公斤的水在标准大气压下自19.5°C加热到20.5°C所需的热量。

(2) 英制单位: 以(B. T. U)为基本单位。所谓一个(B. T. U),系指将1磅的水在标准大气压下加热使其升高1°F所需的热量。

(3) 千卡(kcal)和(B. T. U)的数值关系

$$1\text{kcal} = 3.968\text{B. T. U}$$

$$1\text{B. T. U} = 0.2515\text{kcal}$$

(4) 国际制热单位为千焦耳(kJ)

$$1\text{kcal} = 4.1868\text{kJ}$$

(四) 比热

某物质1公斤质量加热上升1°C所需的热量,称为该物质的比热。例如下列各物质的比热分别为:

水: 1 kcal/kg · °C; 冰: 0.5 kcal/kg · °C; 铁: 0.11 kcal/kg · °C; 铜: 0.093 kcal/kg · °C; 玻璃: 0.19 kcal/kg · °C.

(五) 重度

重度系指液体或气体单位容积所具有的重量，单位为 kg/m^3 。

(六) 比容

比容系指液体或气体单位重量所占的体积。对液体来说，它的单位为升/kg；对气体来说，它的单位为 m^3/kg 。

(七) 压强与真空

1. 压力 构成气体的大量分子撞击器壁的平均结果，称为对器壁的压力。压力的大小是用单位面积上的作用力来衡量，公制用 kg/cm^2 来表示。英制用磅/平方英寸($\#/ \square''$)来表示。作用力的方向垂直于作用面。

公制与英制单位之间的关系： $1 \text{ kg}/\text{cm}^2 = 14.22 \#/ \square''$ ；

物理大气压(标准大气压)=760 mm 高水银柱；

标准大气压= $76 \text{ cm} \times 13.6 \text{ g}/\text{cm}^3 = 1.0336 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ；

工程大气压= $1 \text{ kg}/\text{cm}^2 = 735.3 \text{ mm}$ 高水银柱。

大气压与高度有关，离海平面越高，大气压越低，在离海平面 2000 m 的高度内，平均每升高 12m，水银柱约下降 1 mm。

2. 真空 真空是指低于大气压的气体状态与大气压状态的比较。在真空的单位体积中，气体分子数目较少。真空并不是没有物质，完全没有任何物质的空间被称为“绝对真空”。实际上绝对真空是没有的，它是永远也达不到的。

3. 真空度 表示真空高低的程度称为真空度，用气体压强的大小来表示。压强越低，表示真空度越高。反之，压强越高，表示真空度越低。若压强与当时大气压的水银柱高度相等

时,就是没有真空了;若压强继续升高,就产生了“正压”,因此低于当时大气压的压强又称为“负压”。

4. 压强的表示方法 压强的表示方法有三种,即绝对压力、表压力和真空度。绝对压力表示作用于单位面积上压力的绝对值。表压力表示比大气压高出的数值。真空度表示比大气压低多少的数值。如图 2-1 所示为它们之间的关系。

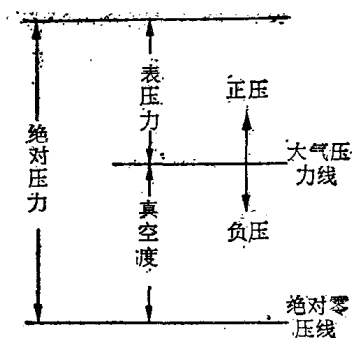


图 2-1 压力真空关系图

$$\text{绝对压力} = \text{表压力} + \frac{\text{当时气压表所示表压 (mmHg)}}{735.3} (\text{kg/cm}^2)$$

式中 mmHg 表示毫米水银柱。

(1) 表压力: 单位与绝对压力相同,也是 kg/cm^2 。为了与绝对压力相区别,常在表压力的具体数字后面加一个 (G) 字,如 $10 \text{ kg/cm}^2 (\text{G})$ 。

(2) 真空度: 表示方法和单位有下述两种:

1) 当压强高于 1 mmHg 时,常用压力式真空表、U 形管水银真空计,或是压力真空联程表 (见图 2-2) 来测量。我们知道,当压强为标准大气压时等于 1.0336 kg/cm^2 ,相当于 760 mmHg 。由此看出,绝对真空等于 0 kg/cm^2 的绝对压力,相当于抽空到 760 mmHg , 如图 2-3 所示。所以当大气压力为标

准大气压时，绝对压力与抽空水银柱高度的关系可用下页公式表示。

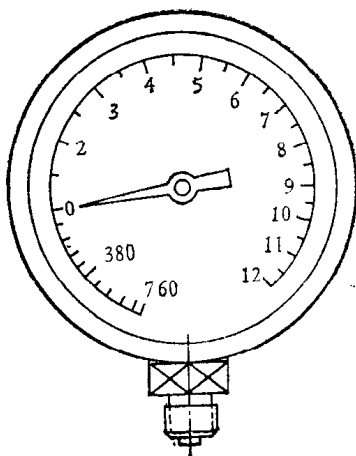


图 2-2 压力真空联程表

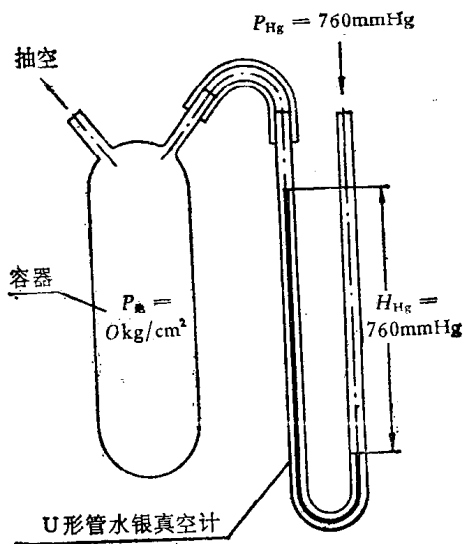


图 2-3

$$\text{绝对压力} = \left[1 - \frac{\text{抽空的水银柱高度 (mmHg)}}{760} \right] \\ \times 1.0336 (\text{kg/cm}^2)$$

真空状态下，容器内的绝对压力和抽空水银柱高度的换算：如图 2-4 所示，设容器内被抽空时的绝对压力为 $P_{\text{绝}} (\text{kg/cm}^2)$ ，当时的外界气压为 $P_{\text{Hg}} (\text{mmHg})$ ，抽空的水银柱高度为： $H_{\text{Hg}} (\text{mmHg})$ 。则

$$P_{\text{绝}} = \frac{P_{\text{Hg}} - H_{\text{Hg}}}{735.3} (\text{kg/cm}^2)$$

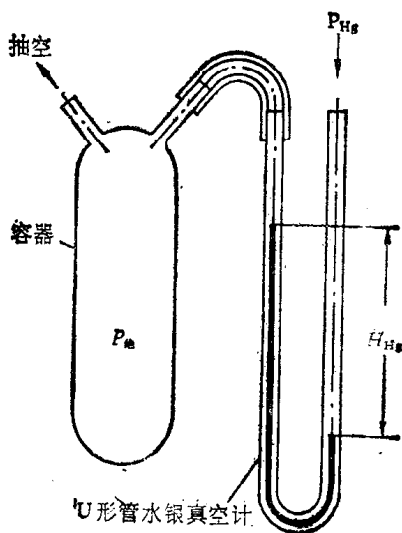


图 2-4

例题 1 设已知抽空的水银柱高度为 500 mmHg，当时的大气压为 750 mmHg，求被抽空容器内的绝对压力为多少 (kg/cm^2)？

【解】 由于

$$P_{\text{绝}} = \frac{P_{\text{Hg}} - H_{\text{Hg}}}{735.3}$$

$$P_{\text{绝}} = \frac{750 - 500}{735.3} = \frac{250}{735.3} = 0.34 \text{ kg/cm}^2$$

例题 2 设已知被抽空容器内的绝对压力为 0.34 kg/cm^2 ，当时的大气压为 750 mmHg ，问被抽空的水银柱高度应为多少 (mmHg)？

【解】 由于

$$P_{\text{绝}} = \frac{P_{\text{Hg}} - H_{\text{Hg}}}{735.3}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{Hg}} &= P_{\text{Hg}} - 735.3 \cdot P_{\text{绝}} \\ &= 750 - 735.3 \times 0.34 \\ &= 750 - 250 = 500 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

1) 当压强低于 1 毫米水银柱时，不用抽空的水银柱高度来表示且换算出绝对压力，而是直接用毫米水银柱 ($1 \text{ mmHg} = 1 \text{ 托}$) 的高度来表示。如：

$$1 \times 10^{-1} \text{ mmHg} = \frac{1}{10} \text{ mmHg} = \frac{1}{10} \text{ 托}$$

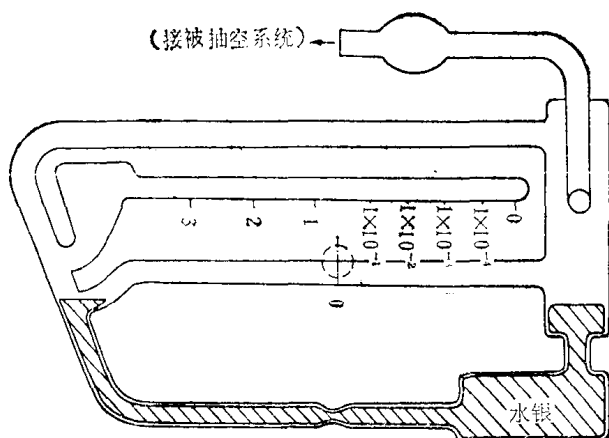
$$1 \times 10^{-2} \text{ mmHg} = \frac{1}{100} \text{ mmHg} = \frac{1}{100} \text{ 托}$$

$$1 \times 10^{-3} \text{ mmHg} = \frac{1}{1000} \text{ mmHg} = \frac{1}{1000} \text{ 托}$$

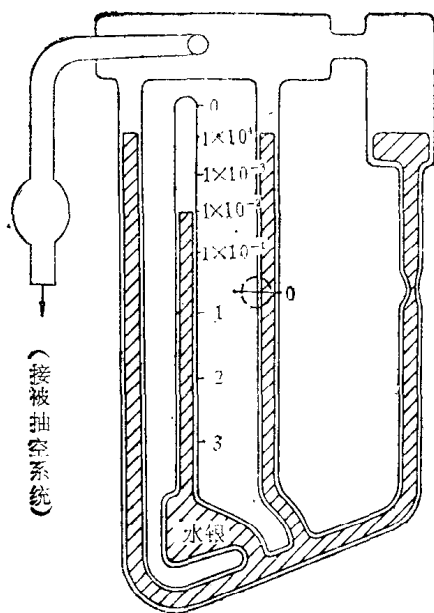
例如：某台真空泵的极限真空度为 5×10^{-3} 托，则真空度的水银柱高度为

$$5 \times 10^{-3} \text{ 托} = 5 \times \frac{1}{1000} \text{ mmHg} = 0.005 \text{ mmHg} = 5 \mu\text{Hg}$$

这种真空度在工业上常用“麦氏真空表”进行测量。“麦氏真空表”如图 2-5 所示。这种表的使用方法是：抽空过程应将表管置于如图 2-5 (a) 所示的位置。当需读取抽空真空



(a)



(b)

图 2-5 麦氏真空表测量示意图

度的具体数值时,再将表板由图 2-5 (a) 位置依图中所示 O 轴为中心逆时针旋转 90° , 形成图 2-5 (b) 的位置。这时便可由读数板上读出具体的真空度来,如图 2-5 (b) 中所示为 1×10^{-2} mmHg。读取数值后,应将表板仍依 O 轴为中心顺时针旋转 90° , 恢复原来抽空过程位置 (图 2-5 (a) 所示位置)。

(八) 几种规定的制冷能力

几种规定的常用制冷能力之间的数量关系。如表 2-1 所示。

表 2-1 冷冻能力比较表

日制冷冻吨	美制冷冻吨	每时公制制冷量 (kcal/h)	每时英制制冷量 (B · T · U/h)
1	1.09788	3320	13173.76
0.91084	1	3024	12000
0.301205	0.330688	1000	3968
0.759085	0.8333	2520	10000

二、物体的热膨胀

将物体加热时,其线长度和体积均会增加,这种现象称为物体的热膨胀。

(一) 固体的热膨胀

1. 固体的线膨胀 在适当的温度范围内,自 0°C 加热至 $t^\circ\text{C}$, 物体的长度自 l_0 增加至 l_t 的一种现象。 l_0 与 l_t 的相互关系可用下式表示:

$$l_t = l_0(1 + \alpha t)$$