

船舶辅机(三)

船舶制冷与空气调节

上海海运学院

前 言

在社会主义建设新时期总任务的战斗鼓午下，我国海运事业出现了蓬勃发展的崭新局面。一支由相当数量和以先进技术装备的大型客货船和各种专业船组成的沿海和远洋船队，正在迅速壮大。为了适应科学技术现代化的要求，尽快地赶上国际先进水平，更多地引进国外轮机新技术，不断地更新陈旧的船舶动力装置和营运设备，提高操作、管理水平，船舶轮机领域的技术革命已进入了重要的历史日程。

我国外贸事业日益兴旺，国际客货运也随之激增。由于远洋船舶航程远，续航时间长，航区范围广，气候变化大，为满足船上各种干鲜和易腐货物运输、贮存的技术要求，船舶中必须设有各种制冷装置，以创造适当地低温“人工环境”。又由于船舶舱室狭小，空气流通不畅，为改善船员和旅客的工作、生活条件，船舶舱室必须设有空气调节装置和通风设备，以提供适宜的“人工气候”。而对自动化船舶来说，为适应各种电子仪器和设备的运行，尚需增设更高要求的恒温、恒湿设备。七十年代以来，由于液氧、液氮和各种液化石油气运输技术的发展，使船舶制冷与空气调节技术领域范围更为扩大，而对船舶制冷与空气调节技术也提出了更高的要求。

鉴于船舶制冷与空气调节技术在现代化船舶上的作用日趋重要，应用范围又日益广泛，我们必须尽快地丰富其理论知识，提高和发展设计、制造水平，熟练地掌握操作、管理技术。同时，必须迅速地培养出更多又红又专的船舶制冷与空气调节方面的专门技术人才。

“船舶制冷与空气调节”一书是我院轮机专业辅机教材之三。为使学科本身的系统性及完整性，又本着加强基础理论知识，密切联系实际和紧密结合专业的原则，我们对过去所采用的教材作了较详细的整理和必要的调整，而在内容编排取材上适当加强了“制冷与空气调节技术”的基础理论知识，较广泛地讲述了船舶制冷与空气调节有关设备与系统的结构和工作原理；同时，又结合实际，列举了部份国内外船舶制冷与空气调节系统典型实例，介绍了装置的安装、管理及维修技术。另外，在编写中注意到：不使篇幅过份增加而力求内容完整，便于自学；基本知识联系专业而兼顾船舶、陆上通用；专业范围立足国内而又力求结合国外新技术。

本书在编写过程中，得到了上海、广州、天津远洋分公司及上海、广州海运局的大力支持。同时，上海交通大学夏安世、尉迟斌、陈芝久、石家泰，同济大学范存养、邱信立、岳孝芳，上海铁道学院滕兆武，华北农业大学周山涛、于梁，西安交通大学韩宝琦，上海工业建筑设计院章奎生、顾身信、夏源流，708所罗芳古，四方车辆研究所李建坤，上海江南造船厂徐祺才、卢炳庆，上海制冷设备厂姚子铭、张千松，上海冰箱厂郁天强，上海冷气机厂唐照明、孟斌华、周桂馥、吴天佑、朱家骥、上海恒温控制器厂杨幼初，南京冷气机械厂付中元，上海鱼品加工厂王轩林等兄弟院校、单位的老师和同志提供了有关资料和讲义，并参加了审稿工作，在此向他们致以诚挚的谢忱。

限于编写水平和时间，书中谬误难免，恳请阅者指正！

上海海运学院、船舶辅机教研组

1978年8月

目 录

第一篇 船舶制冷	(1)
第一章 船舶制冷基本知识	(1)
§ 1—1 制冷技术在船舶上的应用	(1)
§ 1—2 我国制冷技术的发展	(2)
§ 1—3 食品冷藏基本原理	(3)
§ 1—4 食品冷藏的基本条件	(4)
第二章 制冷技术基础	(7)
§ 2—1 压缩制冷的基本原理	(7)
§ 2—2 制冷的热力学基本概念	(8)
§ 2—3 热力学基本定律	(16)
§ 2—4 工质状态参数焓和熵	(19)
§ 2—5 工质的相态变化及热力过程	(23)
§ 2—6 定压下水蒸汽的形成及在 T—s 图上的表示	(26)
§ 2—7 制冷工质的状态变化及热力过程	(28)
§ 2—8 工质的压—焓图 (lgp-i 图)	(30)
✓ § 2—9 蒸汽压缩式制冷的理论循环	(31)
§ 2—10 蒸汽压缩式制冷的实际循环	(36)
§ 2—11 单级压缩制冷循环的热力计算	(39)
§ 2—12 制冷机的工作特性及运转工况	(47)
§ 2—13 两级压缩式及复迭式制冷循环原理	(51)
第三章 制冷剂及载冷剂	(54)
§ 3—1 对制冷剂的要求	(54)
§ 3—2 船舶常用制冷剂及其性质	(60)
§ 3—3 载冷剂	(63)
第四章 制冷压缩机	(68)
§ 4—1 活塞式压缩机的工作原理	(68)
§ 4—2 活塞式制冷压缩机的基本结构	(71)
§ 4—3 船用其它制冷压缩机	(90)
§ 4—4 制冷压缩机的卸载—能量调节装置	(94)
§ 4—5 制冷压缩机的润滑	(104)
§ 4—6 螺杆式制冷压缩机的工作原理	(111)

§ 4—7	离心式制冷压缩机的工作原理	(116)
§ 4—8	半导体制冷的基本原理	(120)
第五章	制冷换热器、管系及辅助设备	(123)
§ 5—1	换热基本原理	(123)
§ 5—2	冷凝器	(132)
§ 5—3	蒸发器	(138)
§ 5—4	制冷装置中的其它换热器	(143)
§ 5—5	制冷装置的辅助设备	(147)
§ 5—6	制冷管系及其绝热	(151)
第六章	制冷装置的自动控制及阀件	(155)
§ 6—1	膨胀阀节流装置	(155)
§ 6—2	毛细管节流装置	(165)
§ 6—3	电磁伐	(169)
§ 6—4	压力控制伐	(173)
§ 6—5	温度控制器	(182)
§ 6—6	压力控制器	(188)
§ 6—7	压差控制器及压差表	(191)
§ 6—8	制冷伐件	(194)
第七章	船舶制冷系统及冷藏舱	(199)
§ 7—1	直接冷却及直接冷却系统	(199)
§ 7—2	间接冷却及间接冷却系统	(213)
§ 7—3	制冷系统的融霜	(215)
§ 7—4	船舶冷藏舱	(219)
§ 7—5	船舶制冷系统举例	(234)
第八章	船舶制冷装置的操作、管理及维修	(247)
§ 8—1	制冷装置的操作技术	(247)
§ 8—2	制冷装置的安装技术	(262)
§ 8—3	制冷装置的检修技术	(269)
§ 8—4	制冷装置的运转及常见故障的原因分析与排除	(273)
第二篇	船舶空气调节	(287)
第九章	空气调节技术基础	(287)
§ 9—1	船舶空气调节的基本内容与要求	(287)
§ 9—2	湿空气的物理性质	(288)
§ 9—3	湿空气的焓——湿图(i—d图)及其应用	(292)
§ 9—4	利用干、湿球温度确定空气的状态	(297)
第十章	船舶空气调节装置	(300)
§ 10—1	船舶空气调节装置的基本组成	(300)
§ 10—2	船舶空气调节器及其空气处理过程	(302)

§ 10—3 船舶空气调节中的空气输送与分配·····	(309)
第十一章 船舶空气调节系统 ·····	(318)
§ 11—1 船舶空气调节系统的基本类型·····	(318)
§ 11—2 船舶常用空气调节系统·····	(319)
§ 11—3 船舶空气调节舱室的气流组织·····	(327)
§ 11—4 船舶空气调节系统举例·····	(328)
第十二章 船舶通风与货舱干燥 ·····	(340)
§ 12—1 船舶通风基本原理与要求·····	(340)
§ 12—2 船舶货舱通风·····	(341)
§ 12—3 船舶机舱通风·····	(344)
§ 12—4 船舶货舱干燥·····	(346)
第十三章 船舶空气调节系统的自动控制 ·····	(349)
§ 13—1 空气调节自动控制系统基本组成和工作原理·····	(349)
§ 13—2 空气调节系统的温度控制·····	(352)
§ 13—3 空气调节系统的湿度控制·····	(365)
§ 13—4 空气调节送风系统的静压控制·····	(369)
§ 13—5 船舶空气调节系统自动控制举例·····	(371)
第十四章 船舶空气调节系统的噪声及控制 ·····	(376)
§ 14—1 噪声基本知识·····	(376)
§ 14—2 噪声的危害和空气调节系统噪声的产生·····	(382)
§ 14—3 空气调节系统中的噪声控制·····	(384)
§ 14—4 噪声的测量·····	(392)
第十五章 空气调节系统的测试与操作 ·····	(397)
§ 15—1 空气调节系统空气主要参数的测试方法·····	(397)
§ 15—2 空气调节系统各单机的运转性能测试·····	(404)
§ 15—3 空气调节舱室空气温、湿度和气流组织的测试与调整·····	(407)
§ 15—4 空气调节系统的操作·····	(408)

第一篇 船舶制冷

第一章 船舶制冷基本知识

§ 1—1 制冷技术在船舶上的应用

“制冷”就是用一定的方法使某一空间或物体达到比周围环境介质更低的温度，而且维持这一温度在某一范围。这里所谓环境介质就是指大自然中的水和空气，为了使某一空间和物体达到并维持其相对的低溫，就得不断地从空间或物体中取出热量并输送到环境介质中去，如此过程就是“制冷过程”，简称作“制冷”。制冷有两种方法，一种是利用自然界的天然冷源来制冷，另一种是用人工的方法来制冷。

天然冷源有冬天贮存的天然冰或夏季的深井水。当夏季需要制冷时，就把贮存的天然冰取出放在需要制冷的地方，让冰融化。冰在融化过程中要从周围介质吸取融解热，从而使周围介质冷下来，以实现制冷。天然冷源具有价廉、贮藏量大和设备简单的优点。所以在很早以前人们就把这种方法用来冷藏食品和防暑降温。我国劳动人民利用冰实现制冷已有三千多年的历史了，早在《诗经·幽风》中就曾记载“二日凿冰冲冲，三日纳于冰阴”。《大暑赋》曾记载“积素冰于幽馆，气飞结而为霜”。这些都是记述用冰来冷藏和降温的例子，它说明我国利用冰来制冷有着悠久的历史。但是用自然冷源制冷受着季节性、地区性和贮存条件的限制，且又达不到 0°C 以下的低溫，故随着工农业大规模生产的发展和科学技术的进步，以及人民生活的需要，人们在一百多年前就研究了人工制冷的办法，并在近期取得了迅速的发展。

现代的人工制冷基本上有三种方法：

- (1) 利用液体汽化时要吸收汽化热这一物理特性来制冷。
- (2) 利用气体膨胀时，温度下降，吸收热量来制冷。
- (3) 利用半导体的温差电特性来实现制冷，即半导体制冷。

这三种方法中目前应用最广泛的还是利用液体汽化吸热这一特性来实现人工制冷。这种制冷通常又被称为蒸汽制冷。蒸汽制冷又有：蒸汽压缩式制冷，蒸汽喷射式制冷和吸收式制冷等三种形式。蒸汽压缩式制冷具有运行安全可靠，制冷量大又便于调节的特点，它是目前船舶制冷与空气调节中的主要制冷形式。

人工制冷在国民经济各个部门应用极其广泛，诸如国防、交通、石油、化工、机器制造、航空、仪表、电子、医药、食品等工业及农业部门，以至宇宙航行都广泛地采用人工制冷的手段以利于工业过程与科学研究的进行。

造船以及船舶运输是国民经济的重要部门之一，其人工制冷的应用尤为重要。主要用途有：

一、货物冷藏运输及伙食冷藏

为适应船舶航程长，航区气候变化大的特点。借助于船舶制冷装置来保证把冷藏货物运至目的港，并且保证在续航期间向船员和旅客供应充足的新鲜食品。

二、船舶舱室空气调节：

创造出符合在海船上长期工作或数日旅行所需要的卫生条件——“人工气候”。人工制冷装置为船舶舱室空气调节提供必需的冷源。

三、渔品冷藏加工：

我国国土辽阔，海岸线长，海洋渔场广阔。渔船出海捕鱼由于渔场位置和操作关系以及气候变化等因素，往往数日方能返回基地，为保证水产渔品的新鲜完好，而必须在船上设置冷藏舱，进行及时冷冻、加工贮藏和低温贮存。

四、海上作业船的制冷：

海洋有着十分富饶的资源，是人类的天然宝库之一，为开发海底资源，需要进行海洋考察，为此，必须制造为海底勘探和作业用的潜水调查船、海洋考察船以及海上挖掘的海上建筑……等设施。而为了其正常工作都设有制冷与空气调节装置。

此外，如在海军建设上，为保证舰艇的战斗力，续航能力，弹药武器安全贮存，特别是潜艇长时间隐蔽潜航。这些均离不开人工制冷及空气调节装置。

§ 1—2 我国制冷技术的发展

“中国是世界上文明发达的国家之一”，早在三千年前就应用天然冰与深井水来制冷，但解放以前，在历代封建王朝和国民党反动派统治之下，制冷技术得不到发展。直至1949年解放时，我国尚没有一座制冷机制造工厂，也没有一座用国产制冷设备装备的冷库。仅有且为数不多的陆上小型冷库和冰箱也都是用所谓洋机器配套安装起来的，并均掌握在洋商与资本家手里，作为压榨中国人民的工具。当时我国的制冷工业基本上处于空白状态。解放以后，我国制冷工业如枯木逢春，得到了巨大发展。特别是近十多年来我国制冷工业得到了进一步发展。目前我国生产的活塞式制冷机已有较完整的系列，计有五种标准缸径，二十余种产品均已投入成批生产。其主要结构及性能参数等已接近或达到国外同类型产品的水平。当前正尽力提高产品质量，朝着提高其转速增加制冷量发展。如50、70缸径系列，转速从1440 r/min提高到2850 r/min；100，125缸径系列，转速从960 r/min，提高到1440 r/min。此外，为进一步改进产品结构、提高性能，延长使用寿命，则成批生产了50、70，100缸径的半封闭活塞式制冷压缩机，这些活塞式制冷压缩机其制冷量根据使用工质，缸径和缸数不同可以从0.3万 kcal/h 到44万 kcal/h。离心式制冷机近年来也发展得很快。它有着制冷量大，结构紧凑，重量轻，体积小，运转平稳可靠，操作维修方便等特点，因此具有很广阔的发展前途。目前，离心式制冷机国内小批量生产与研制近十余种产品，制冷量从50万 kcal/h 直至625万 kcal/h，转速为3000~12000 r/min。其产品应用于化工及造船等工农业和国防部门。此外，螺杆式制冷机是近期发展起来的新型制冷机，它具有结构简单、紧凑、运转可靠、寿命长等特点，在国内已研制了五种螺杆直径的螺杆式制冷压缩机，转速从2800 r/min 至4440 r/min，制冷量从1.7万 kcal/h 至124万 kcal/h。

对于吸收式制冷机，因为它是以低压蒸汽或热废汽作为能源的新型制冷设备。虽然其钢材消耗量大，体积较为笨重，但它具有结构简单，运转另部件少，噪音低，振动小，又无爆炸

危险等优点，尤适用于舰船和有工业废汽的场所，故有着较大的发展前途。热电制冷即半导体制冷，其结构和工作简单可靠，无噪音，体积小，所以在小型制冷器中得到应用。

目前我国大量生产的主要产品是活塞式制冷机，而离心式，螺杆式，吸收式制冷机尚属小批量生产或研制阶段。随着国防建设，工农业、交通运输业和科学技术的发展，必将促进我国制冷事业朝着世界先进技术水平更迅速迈进。

§ 1—3 食品冷藏基本原理

船舶制冷装置的工作目的是保证冷藏食品——水果，蔬菜，鲜鱼，肉类，蛋类，油脂等运送质量。因为这些食品在常温下很短时间内就会腐烂变质，失去其新鲜品质，甚至不能食用。而将其贮存在低温环境中，就有可能在较长时间内保持其良好品质。

为了了解食品冷藏贮存的原理，就应懂得这些食品腐烂的基本原因。通常凡食品在贮存和运送时，需要特别保护措施，以免受到外界空气温湿度高低和微生物之影响而损害其品质者，均称为易腐食品。易腐食品的化学成份、种类很多，但总括起来不外乎：有机物质，无机物质两大类。易腐食品中所含的有机物为糖、蛋白质和脂肪等，这些物质都是复杂的有机化合物，只不过具体分子结构不同而已。易腐食品中所含的无机物为各种矿物质和水。矿物质中的铁、钙、磷、镁、硫、碘、钾、钠等是人体营养所不可缺少的物质。它是构成人体所有细胞和组织的重要成分，且对人体新陈代谢起着重要作用。食品中还含有各种有机酸、酶、维生素、芳香物质及大量水份。食品中的水份通常约为食品重量百分之五十以上。如肉类含水量45—78%，鲜鱼62—82%，牛奶87%，蛋74%，水果蔬菜73—96%。一般在相同的条件下，易腐食品所含的水份愈多，则腐烂愈快。

易腐食品腐烂主要原因是其本身的生物化学变化和微生物变化。生物化学变化是由于食品发生氧化而变色、变味和分解。微生物变化是由于微生物菌类(真菌、细菌和酵母菌)在食品内滋长繁殖的结果。微生物各种菌类可使食品产生皮膜、斑点、变色、变酸和发臭，以至完全毁坏其结构和营养成分。环境温度、湿度对微生物滋长繁殖起很大影响，而食品内含有的水份和各种有机物又为微生物的滋长繁殖创造了良好的条件。总之，上述二种原因中，微生物的滋长繁殖是造成食品腐烂的主要原因，所以要防止食品腐烂就必须控制微生物的生命活动。

微生物的生命活动，仅在所有外界环境因素都最适宜的情况下才能达到最高的程度。若其中有一个因素不适宜，就将引起其生命活动下降，以至终止生命和发育。按照这一法则，我们只要把任何一个环境因素改变为不利于微生物生长的情况，就可以控制微生物的生命活动。

为了解决易腐食品的贮存，只要将易腐食品适当地加工，制造人为贮存条件，就可以限制食品内微生物的生长、发育，以致促成其死亡。在食品中加入食盐，糖是最常见的食品贮存方法。食盐、糖可以改变食品内溶液的渗透性，中断微生物细菌的营养，造成细菌周围的生理干燥，停止其发育。此外，在生物学上还有以菌抗菌的办法，在食品内部人工地造成相互矛盾的微生物细菌发酵，让一种有益的发酵消灭另外的使食品腐烂的发酵，以达到贮存食品的目的。如制造酸牛奶时，就是在牛奶中加入乳酸细菌，让它抑制其它许多微生物细菌的发育，以保存牛奶。此外，还有用干制法，光照射法，加热法，加防腐剂法等措施贮存易腐食品，但这些方法其最大缺点都是要破坏食品内部组织，进而降低其营养价值和新鲜滋味。

易腐食品的低温贮存，随着制冷技术的进展，已被广泛采用。一般地说，低温虽不能完全杀死微生物细菌，但能大大抑制其生长、繁殖。对于水果，蔬菜之类倘能延缓其继续生长成

熟。经食品科学部门研究，食品在其它条件均相同，当贮存温度为 -8°C 时，微生物的繁殖速度要比 0°C 时缓慢 40 倍。也就是说在 -8°C 时，食品能贮存 200 昼夜，而在 0°C 条件下仅能贮存 5 个昼夜。如果把贮存温度降低到 $-10^{\circ}\text{C} \sim -15^{\circ}\text{C}$ 以下时，由于食品冻结发生脱水作用，使微生物不能实行营养和生化反应，微生物就趋于完全停止其发育。这就是冻结食品保藏的基本原理。

应提及的是，低温虽能延缓或停止食品中微生物的滋长繁殖，但当温度回升解冻后，因其各种营养物质的液汁渗溢和微生物的迅速苏醒，还会继续滋长繁殖，进而会促使食品遭到腐坏。因此，低温贮存食品必须使食品在生产、运送、销售等过程经常不断地保持低温作用，以保持食品的原来自质量。这也是食品生产、商业、运输、销售等部门所以要组成冷藏连络网的道理。

对于新鲜水果、蔬菜类，则是在保持其生活机能的前提下，利用适宜的低温，最大限度地抑制其生理活动，延缓其物质消耗，可以达到长期贮藏保鲜。另外，如果在贮藏环境中适当提高 CO_2 和降低 O_2 的浓度，同样可以抑制水果蔬菜的呼吸强度，延缓其成熟过程，而达到延长贮藏时间的目的。这里人工地调节贮藏环境的气体成份而贮藏水果、蔬菜，通常称作“气调贮藏”。

在不同的低温条件下贮存食品既能防止食品腐烂，又能很好地保持食品的色、味、香、营养物质和维生素等在新鲜时所特有的一切品质。所以，在易腐食品贮存方法中，低温贮存则被普遍采用。易腐食品运输是其贮存过程的一个重要环节。船舶制冷装置的作用是创造出一定的低温条件，保证船员伙食的定期贮存、并把贮运的易腐食品等冷藏货安全地运送到目的港。

§ 1—4 食品冷藏的基本条件

易腐食品低温贮存并不是说温度越低越好，也并非任意的低温条件下都能取得良好的贮存效果。一般根据不同种类的易腐食品之特点和贮存要求，而采用不同的低温条件，通常采用“冷却”和“冷冻”二种不同的处理方法。所谓“冷却”处理，即把食品保持在温度较低而一般又不致低过于 0°C 的环境中贮存。例如鲜蛋、乳品、水果、蔬菜等，可允许在 $-2^{\circ}\text{C} \sim +12^{\circ}\text{C}$ 温度范围贮存、运送。冷却一般不影响食品的内部组织。在此条件下微生物还具有一定的生长繁殖能力，因此要采取一切措施尽可能避免微生物感染，如防止机械损伤或加用杀菌药物等。而“冷冻”处理，即把食品贮存温度降低到 0°C 以下，使食品内大部份水变成冰——冻结，致使微生物几乎完全停止生长繁殖，以达到较久贮存的效果。食品冻结过程就是食品液汁的冻结过程。食品液汁冻结的冰结晶体可大可小，大晶体往往使食品细胞组织破坏，当食品解冻时液汁就不能回到细胞中而使食品的质量降低。通常，希望食品在冻结时，食品内的液汁能结成微小的冰结晶体均布于食品组织之内，而不破坏食品内部组织，这样，在解冻时能增大过程的可逆性，恢复食品的滋味和营养价值。因此，在冻结食品时，希望采用快速冻结法——即“速冻”法、以达到食品冷藏贮存的预想效果。图 1—1 所示为食品“快速冻结”与“缓慢冻结”曲线。显然，快速冻结时最大冰

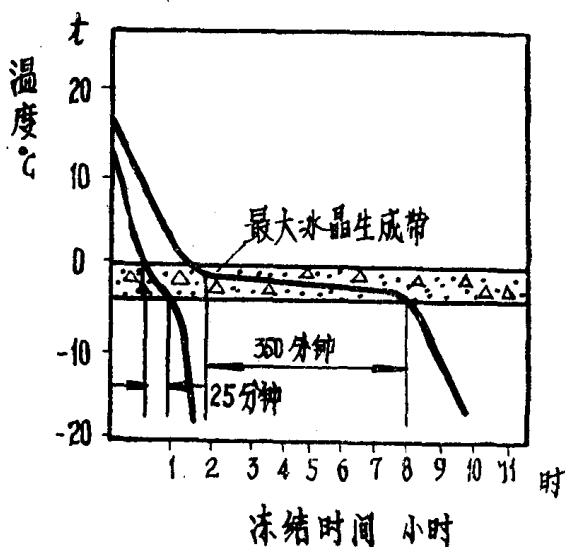


图 1—1 快、慢速冻结曲线比较

结晶生成带比缓慢冻结短得多。这样冻结在解冻以后，食品细胞组织受到的破坏较小。

冻结食品在食用之前一般要解冻(如肉鱼)或加温(如蔬菜、水果、蛋品)以恢复食品原来的营养、滋味、香气等品质。为了使食品冰晶的液汁充分渗入组织中，解冻往往得缓慢进行，时间长者可延续3~5昼夜。解冻时，室温可保持较食品温度高4~5℃，相对湿度保持90~95%。解冻不但可在空气中进行，还可以在水中或蒸汽中进行。

表 1—1 各种食品冷藏温、湿度要求及物理特性

食品名称	冷藏温度℃	相对湿度%	可贮存时间	含水量%	冰冻点℃	比热 kcal/kg ℃		潜热 kcal/kg
						冰点以上	冰点以下	
1 苹果	-1~1	80~90	2~7月	85	-2	0.92	0.50	67
2 櫻桃	0.5~1	80	1~3星期	82	-4.5	0.87	0.46	66
3 香蕉	12	85	2星期	75	-1.7	0.80	0.42	60
4 桔子	0~1.2	85~90	8~10星期	90	-2.2	0.90	0.46	69
5 桃子	-0.5~1	80~85	2~4星期	86.9	-1.5	0.90	0.46	69
6 梨子	-0.5~1.5	85~90	1~6月	83	-2	0.90	0.48	67
7 青(熟)菠萝	4~13(4~7)	85~90	2~4星期	85.3	-1.2	0.88	0.45	68
8 西瓜	2~4	80~90	2~3星期	92.1	-1.6	0.97	0.48	72
9 青(熟)蕃茄	10~20(1~5)	85~90	3~4 (1~3)星期	94	-0.9	0.95	0.48	74
10 土豆	3~6	85~90	6月	77.8	-1.8	0.82	0.43	62
11 葡萄	-1~3	85~90	1~4月	82	-4	0.86	0.44	65
12 蘑菇	0~2	80~85	1~2星期	91.1	-1	0.93	0.47	72
13 鲜鸡蛋	-1~-0.5	80~85	8月	70	-2.2	0.76	0.40	54
14 冻鱼	-20~-12	90~95	8~10月					
15 猪肉(冷却)	0~+1.2	85~90	3~10天	35~42	-2.2 ~-1.7	0.54	0.32	30
16 冻猪肉	-24~-18	85~90	2~8月					
17 冻家禽	-30~-10	80	3~12月					
18 冻兔肉	-24~-12	80~90	6月					
19 冻羊肉	-12~-18	80~85	3~8月					
20 冻牛肉	-23~-18	90~95	9~12月					

总之，船舶冷藏，就是使其所装运和贮存的易腐食品既杜绝微生物细菌的沾染和滋长，又要保持食品的完美。为此，还必须经常保持冷藏舱或冷库的清洁，且符合卫生要求。掌握各种易腐食品的特性、创造对易腐食品最适宜的冷藏温度，湿度和通风等条件。运送温度是低温贮存易腐食品的首要条件，温度过高，不能杜绝微生物生长繁殖而使食品腐烂，温度过低又会使某些食品冻坏。此外，湿度对贮存运送易腐食品也有很大影响，湿度过高将使食品发汗，微生物易于生长繁殖，湿度过低又会使食品干耗，降低其品质。此外，为了保持易腐食品贮存和舱室空气的新鲜，并促使其温、湿度分布均匀，冷藏舱室还应进行适当的通风换气和臭氧处理，这对贮存或运送蔬菜、水果尤为重要。表 1—1 列出了部份易腐食品最佳冷藏温度和相对湿度值，可供实际工作参考。

第二章 制冷技术基础

随着制冷技术的发展,人工制冷方法愈来愈多。由于应用场所的特点和工作要求不同,而选用不同工作原理和不同形式的制冷机。蒸汽压缩式制冷机发展历史悠久、技术成熟,机器运转比较可靠,制冷能量调节范围广,所以目前在国民经济和国防建设各个部门广泛应用。压缩制冷工作过程主要是依靠压缩机完成的。根据压缩机的工作原理,主要有活塞式和透平式(离心式)两大类。活塞式压缩机是依靠活塞在汽缸中的往复运动所形成的可变工作容积而完成对汽体的压缩和输送。透平式压缩机是汽体在高速转动的叶轮中提高速度,而后通过导向器使汽体的动能转变成压力能,由此完成汽体的压缩和输送。在现今船舶制冷和空气调节装置中、较为普遍地采用活塞式制冷压缩机。因此在船舶制冷技术中主要讲述活塞式制冷压缩机,而其它形式制冷机仅对基本原理予以概述。

§ 2—1 压缩制冷的基本原理

制冷的目的是把被冷却物体的热量转移到周围的介质——水或空气中去,使被冷却物体的温度降低,并在所需要的时间内保持一定的低温。从生活实践中知道,高温物体热量要向低温物体转移,正如船舶机舱里的污水向舱底流动一样、它们都是自动进行的。如果要把低温物体的热量转移到高温物体,就象要使船舶舱底水流到舷外一样,是不能自动进行的,但可以消耗一定的能量作为补偿来达到。例如我们要把舱底水送到舷外,可以用舱底水泵输送或用人力提升。但无论是用舱底泵还是用人力,总是要付出一定的代价——功。同样,要将低温物体的热量转移给高温物体也必须付出一定的能量作为代价来补偿。对于制冷机来说就是借助于消耗电机所需的电能转变为压缩机的机械功,而把低温物体的热量转移到高温物体中去。

图 2—1 a、b 所示为水泵与制冷机工作比较。舱底泵消耗机械功 AL 、将低水位 h_2 的水量 G_2 送到高水位 h_1 ; 而制冷机消耗机械功 AL 、把热量 Q_2 由低温 T_2 物体转送到高温 T_1 物体。两者都是在外界机械功的作用下工作的。但制冷机与水泵不同之处是:通过水泵的水量是不变的, $G_2 = G_1$; 而制冷机作用下热量 Q_2 与热量 Q_1 则不等。

同样,我们还可以把制冷机与热机进行比较。

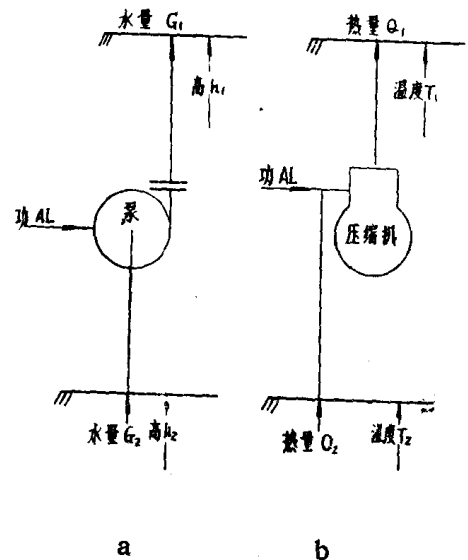


图 2—1 水泵与制冷机工作的比较

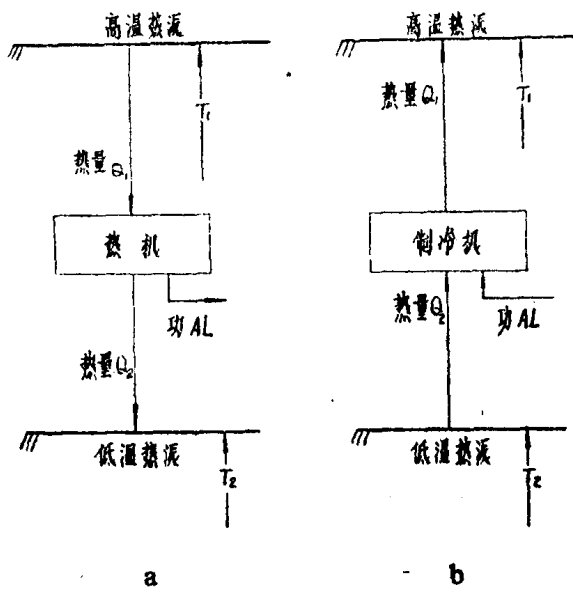


图 2—2 热机与制冷机工作的比较

图 2—2 a、b 分别表示热机和制冷机工作原理。热机的工作是把高温热源 T_1 的热量 Q_1 ，其中一部分热量 Q_2 转移到低温热源，同时向外界作 AL 的机械功；而制冷机的工作是通过外界输入 AL 的机械功而把低温物体 T_2 的热量 Q_2 ，并连同 AL 的热量一起转移到高温热源 T_1 。其关系是 $Q_1 = Q_2 + AL$ 。

船舶制冷的目的是要把装运之冷藏货物、食品等的热量转移给空气或海水，以保证货物、食品的低温输送。压缩式制冷机即借助于压缩机消耗机械功，使一种能够发生状态变化的工质，把低温物体的热量转移到高温物体中去。这种能发生状态变化的工质在制冷机中通常称作制冷剂。

夏季游泳上岸后，身上感到特别凉爽；冬季当受雨淋之后又感到特别寒冷。这些都是因为皮肤上的水蒸发(汽化)时吸取了人体热量的缘故。任何一种液体当它汽化时必须吸收热量，而蒸汽在凝结时，再放出热量成为液体。制冷剂就是在制冷系统内连续不断、反复发生从液态变成汽态，再由汽态凝成液态的相变过程而转移热量的。这就是压缩式制冷机的基本工作原理。压缩式制冷机主要由压缩机、冷凝器、膨胀伐、蒸发器四个部件组成。它们之间通过管路连接，而组成一个封闭系统。如图 2—3 所示制冷剂在系统内相继经过压缩、冷凝、节流、蒸发等四个过程完成制冷循环，而达到制冷的目的。

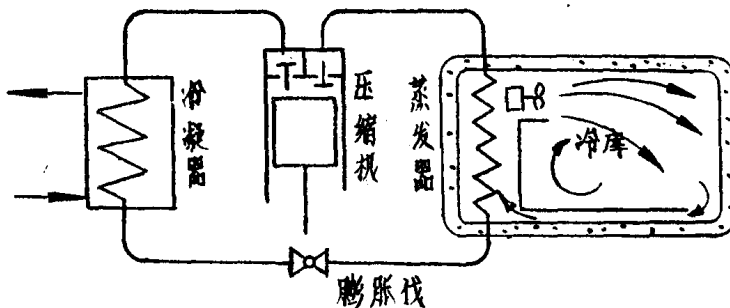


图 2—3 压缩式制冷原理图

§ 2—2 制冷的热力学基本概念

一、工质的基本状态参数：

在热力工程中，用来实现能量转换的物质叫做工质。如柴油机以空气作为工质，蒸汽机以水蒸汽作为工质，而制冷机则是以氨、氟利昂等作为工质。在给定瞬间，工质都具有一定的状态，决定工质状态的物理量称为工质的状态参数。

工质在受热而膨胀时，其压力、温度和每单位工质所具有的容积——比容都将发生变化，就是说工质所处的热力状态发生变化。在蒸汽压缩式制冷机中，是通过制冷工质在系统中不断发生热力状态变化而获得低温。压力、温度和比容这三个状态参数可以全面地描绘出工质任意一个热力状态，所以这三个参数称作工质的基本状态参数。工质除这三个基本参数外还有其它热力参数如焓、熵、内能等。

1. 压力：

容器中大量的气体分子总是充满着整个容积，并处于不断的纷乱运动中，大量分子撞击容器壁的总结果就形成了气体对器壁的压力。所以压力就是单位面积上所受的力（在物理学中称作压强）。工程上压力以 P 表示，单位是 1 公斤力/厘米² (kgf/cm²)，或毫米汞（水银）柱 (mmHg)。把 1 kgf/cm² 的压力称为一个工程大气压。

$$1 \text{ 工程大气压} = 1 \text{ kgf/cm}^2 = 10^4 \text{ kgf/m}^2$$

当压力用汞柱表示时，其 $P = h$ (汞柱高度) $\times \gamma$ (汞的重度)。一般在压力不大的场合常用毫米水柱表示，在同等压力时其水柱要比水银柱高 13.6 倍，即 1 毫米水银柱 (mmHg) 等于 13.6 毫米水柱 (mmH₂O)。

地面上空气所形成的压力称为大气压力，用符号 B 表示。其大小随地区海拔高度和气候条件而变化。物理学上规定，在纬度 45° 的海平面上，常年平均的大气压力为标准大气压或称物理大气压，它相当 760 mmHg。

$$1 \text{ 物理大气压} = 1.0333 \text{ kgf/cm}^2 = 10.333 \text{ mH}_2\text{O} = 760 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{ 工程大气压} = 1 \text{ kgf/cm}^2 = 10 \text{ mH}_2\text{O}$$

因为 0℃ 时水的重度为 1000 kg/m³，水银 (汞) 的重度为 13595 kg/m³，故

$$1 \text{ 工程大气压} = 10 \text{ mH}_2\text{O} = 0.736 \text{ mHg} = 736 \text{ mmHg}$$

可见物理大气压略大于工程大气压、工程大气压是为了工程上应用更简便而制定的，所以在工程上除特别指明外，一般所用的大气压均为工程大气压。

过去曾采用磅/吋² 作为工程上的压力单位、它与工程大气压的关系：

$$1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 14.2 \text{ 磅/吋}^2 (\text{lb/in}^2)$$

关于压力的单位因为在新的国际单位制中规定力的单位为牛顿 (N)、它与目前使用之力的单位公斤·力 (kgf) 之关系是：1 kgf = 9.81 N \approx 10 N (牛顿)

或 $1 \text{ N} = 0.102 \text{ kg}\cdot\text{f} \approx 0.1 \text{ kg}\cdot\text{f}$

因此，新的压力单位则采用帕斯克 (pa) 表示，而巴 (bar) 则作为 pa 的特殊表达式：

$$1 \text{ pa (帕)} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ bar (巴)} = 10^5 \cdot \text{pa} = 10^5 \text{ N/m}^2 (\text{牛顿/米}^2)$$

或 $1 \text{ bar (巴)} = 1.02 \text{ kg}\cdot\text{f/cm}^2 = 1.02 \text{ 工程大气压}$

$$1 \text{ kgf/m}^2 = 1 \text{ mmH}_2\text{O} = 9.807 \text{ N/m}^2 \approx 10 \text{ N/m}^2$$

压力通常用压力表、气压表、真空表或压力真空表进行测量。这些测量仪器的结构原理均建立在压力平衡的基础上。根据弹簧的变形、液柱的重量或者用活塞上的载重等去平衡被测容器或系统内的压力。图 2—4a、b 所示是用液柱的高度来表示容器中压力的相对值。图 2—4a 表示容器中的气体压力比外界大气压 B 大了 h_1 的液柱高度。我们把高出的这部分压力称作表压力，用 $p_{\text{表}}$ 来表示。容器中气体压力的绝对值称作绝对压力，用 $p_{\text{绝}}$ 来表示。根据压力平衡可表达为：

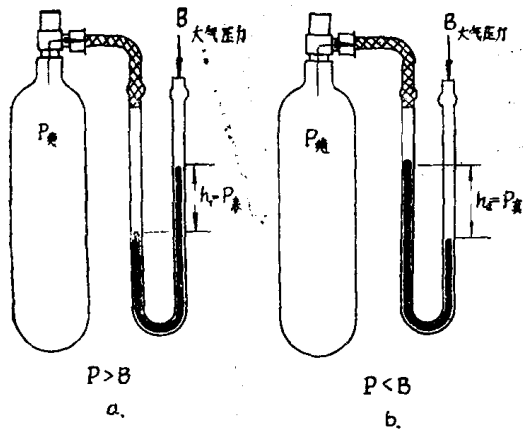


图 2—4

- a: 容器中压力高于外界大气压力;
- b: 容器中压力低于外界大气压力。

$$P_{绝} = P_{表} + B, \quad P_{表} = P_{绝} - B \quad 2-1$$

在图 2—4b 中表示容器内的气体压力比外界大气压力 B 低了 h_2 的液柱高度, 这段高度表示了容器中气体稀薄程度故称作真空度, 用 $P_{真}$ 来表示。此时根据压力平衡可表达为:

$$P_{绝} + P_{真} = B, \quad \text{或} \quad P_{绝} = B - P_{真} \quad 2-2$$

从上述表达式中看出表压力 $P_{表}$ 和真空度 $P_{真}$ 的大小都是相对值, 不能说明容器中气体压力的真正大小, 只要外界压力 B 发生变动, 则表压力或真空度就要改变。因此, 只有绝对压力才是一个不受外界大气压力变动而改变的数值, 是真正能表示气体状态的参数。然而要准确测量绝对压力是比较困难的, 实际应用中也没有必要, 故一般均采用相对值。在工程计算时, 当容器或系统中

工质压力较高时, 则往往把大气压力 B 值确定为 1 工程大气压, 这样处理在工程计算中所引起的误差微不足道。但必须注意, 在计算较低压力时, 特别是当容器或系统内的压力低于大气压时, 表压力就应该是一个负值。所以真空度这一数值在实质上是一个具有负压的表压力。

在工程上最常用的是弹簧管式压力表。图 2—5 表示这种压力表的形状和内部构造。压力表的感压元件 1 是一个截面呈椭圆、弯成环形的金属管。管的一端固定在支座上、并与被测容器或系统相通。另一自由端 5 是封闭的, 可以自由伸缩。当被测容器内的压力大于外界大气压力时, 弹簧管向外扩张, 自由端 5 就向外移动。当被测容器内压力小于外界大气压力时, 弹簧管就向里弯曲, 自由端 5 向内移动。管内压力大小不同, 自由端移动情况也不同。自由端移动通过拉杆 6, 扇形齿轮 4 和主齿轮 3 带动指针 2 转动, 从而在表盘 9 上直接读出容器内的压力值。当弹簧内的压力等于大气压时、指针指在零位, 所以这种弹簧管式压力表上读出的压力值是表压力。有了表压力要得到绝对压力只要把表压力加上 1 个工程大气压力 (1 kgf/cm^2) 就是了。例如在实际测量时, 当表针读数为 4 kgf/cm^2 ,

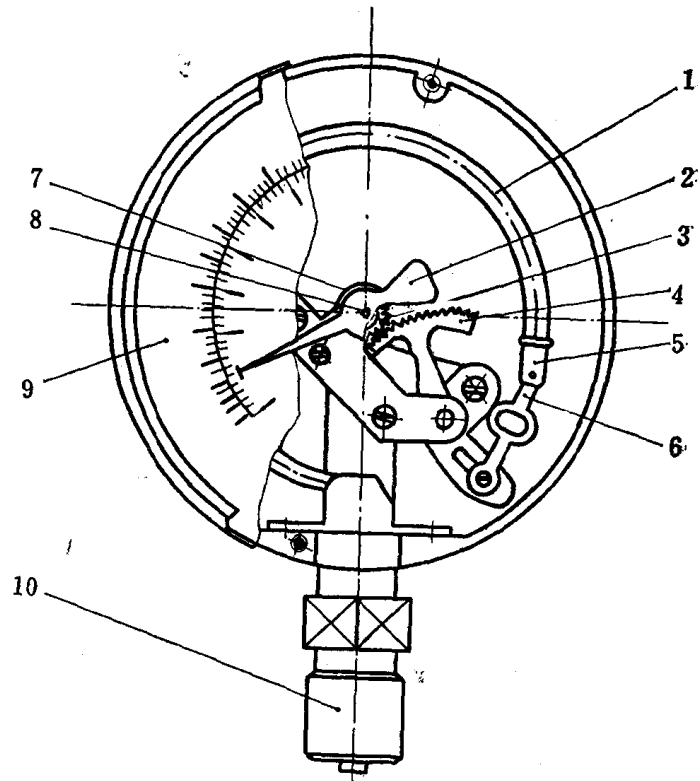


图 2—5 弹簧管式压力表

- 1-弹簧管; 2-指针; 3-主齿轮; 4-扇形齿轮;
- 5-弹簧管自由端; 6-拉杆; 7-游丝; 8-指针心轴;
- 9-表盘。

即表压力 $P_{表} = 4 \text{ kgf/cm}^2$ 时, 那么被测容器内的绝对压力

$$P_{绝} = 4 + 1 = 5 \text{ kgf/cm}^2$$

2. 温度:

温度是衡量物体冷热的尺度, 同时用以确定热量传递的方向。甲物体的温度 t_1 高于乙物体的温度 t_2 ($t_1 > t_2$), 则热量将由甲物体向乙物体转移。如果两物体之间不发生热量转移而处于热平衡状态时, 则两物体的温度必然相等 ($t_1 = t_2$)。

工程上一般均用百度温标 ($^{\circ}\text{C}$) 来度量温度。百度温标的 0°C 是指在 1 个物理大气压下水的冰点, 而 100°C 是指 1 个物理大气压下水的沸点。如果把这两个不变的温度之间划分为 100 等分, 那么每一等分即为 1°C 。百度温标又称摄氏温标, 用符号 t 表示。其测量单位记作 $^{\circ}\text{C}$ 。

另外, 国际上新的国际温标, 即所谓热力学温标, 用字母 K 表示, 单位叫做开尔文, 其每一度的大小与摄氏温标相等, 但起点不同, 它不是以水的冰点为零点, 而是以 -273.15°C 作为零点, 叫做绝对零度 (这种温标又叫做绝对热力学温标)。绝对温度 T 和摄氏温度 t 之间的关系是:

$$T = t + 273.15 \approx t + 273 \quad 2-3$$

例如, 水的冰点是 0°C , 也就是 273.15 K ; 水的沸点是 100°C , 也就是 373.15 K ; 水的三相点, 即水、冰和蒸汽三者共存的温度是 0.01°C , 也就是 273.16 K ; 同样 -20°C 就是 253.15 K ; -253.15°C 也就是 0 K ; -273.15°C 就是 0 K 。又如, 对温差的表示, $T_1 - T_2 = 375 \text{ K} - 315 \text{ K} = 60 \text{ K}$; 或 $T_1 - T_2 = 60^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C} = 40 \text{ K}$, 如此等等。

物体温度的测量方法很多。因为液体、气体的体积或压力, 金属或半导体的电阻, 热电偶的电动势, 物体的发光颜色等, 都随着温度而发生变化。因此, 我们就利用这些性质的变化制成不同的温度计来测量温度。常用的水银温度计就是利用水银的体积随温度而改变的性质制成的。又如电阻温度计、热电偶温度计、膨胀式指针温度计、光学高温计等等原理也如此。

3. 比容:

在工程热力学中每单位重量的气体所占有的容积称作比容, 用符号 v 表示, 单位是 $\text{m}^3/\text{公斤}$ 、(或 m^3/kg)。常用大写字母 V 表示全部气体的容积。若以 G 表示全部气体的重量, 那么其比容则为

$$v = V/G \quad \text{m}^3/\text{kg} \quad 2-4$$

每立方米气体的重量称作重度, 用符号 γ 表示, 即: $\gamma = G/V \text{ kg/m}^3$ 2-5

比较上面公式可得:

$$\gamma = \frac{1}{v} \quad \text{或} \quad \gamma \cdot v = 1 \quad 2-6$$

因此, γ 和 v 互为倒数, 对气体的任何状态来说, 同一状态下的重度和比容之乘积恒等于 1。

以上所述之压力、温度和比容(或重度)在工程热力学中, 是研究工质各个热力过程(吸热、放热、压缩、节流等)的三个基本状态参数。

二、热量和比热:

1. 热量:

物体温度降低时要放热,如新鲜肉类放入冷库后就要向冷库不断放热;物体温度升高时要吸热,如要使锅炉里的水温度升高,就要消耗一定量的燃料。因此,热量是表示物体吸热或放热多少的物理量,也是能量的一种表现形式。

热量的单位多以大卡(又称千卡 kcal)、卡(cal)或焦耳(J)表示。一大卡系指1公斤的纯水在20℃时温度升高1℃所吸收的热量。1大卡的千分之一是1卡。 $1\text{J}(\text{焦耳}) = 2.39 \times 10^{-4} \text{kcal} = 2.78 \times 10^{-7} \text{kw}\cdot\text{h}(\text{瓦}\cdot\text{时}) = 0.102 \text{kg}\cdot\text{m}(\text{公斤}\cdot\text{米})$ 。工程上常用符号Q表示热量,非特别注明者均以大卡为计量单位。

2. 比热:

物体温度升高或降低的程度不同,所吸收或放出的热量也不等。例如锅炉里的水从20℃升高到180℃要比从20℃升高到80℃吸收的热量多,同样锅炉把5吨水和1吨水从20℃升高到180℃,则5吨水吸收的热量比1吨水要多;此外,同等重量的水和铁升高同样温度时,水要比铁吸收的热量多。

由此可知,当物体温度发生变化时,所吸收或放出的热量与其温度变化、物体的重量、材料的性质等有密切关系。我们把单位重量(1公斤或1克)的物体温度升高或降低1℃时所吸收或放出的热量,叫做重量比热(或称比热),常用符号c表示,单位是大卡/公斤·℃(kcal/kg℃)或卡/克·℃(cal/g℃)。

例如,水的重量比热是1 kcal/kg℃;空气的重量比热是0.24 (kcal/kg℃);铁的重量比热是0.11 kcal/kg℃。意思就是1公斤的水、空气、铁温度升高或降低1℃时,所吸收或放出的热量分别为1.00、0.24、0.11 kcal。

工程上常用的比热,除了重量比热外还有容积比热和莫尔比热。在非特别指明时,所述比热均为重量比热。

不同物体的比热数值不同。即使同一物体在不同温度下,温度升高或降低1℃所需的热量严格讲也是不同的,但在一般工程应用上因温度变化而引起的比热值变化不大,故可忽略。

表 2-1

名 称	比 热 kcal/kg℃	名 称	比 热 kcal/kg℃
水	1.0	铜	0.093
水银	0.033	银	0.056
空气(定压下)	0.24	铁	0.11
氢气(定压下)	3.41	钢	0.12
		铝	0.21

上述比热定义对气体来讲系气体在任意过程而言。其实,气体比热还随加热过程的不同而有所变化。如果气体在加热过程中容积保持不变,则称为定容比热。如果气体在加热过程