

YEHUA SHIYOUQIZHAN CAOZUOGONG



燃气热力行业职业技能岗位培训用书

液化石油气站操作工

丁崇功 主编



化学工业出版社

燃气热力行业职业技能岗位培训用书

液化石油气站操作工

丁崇功 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书全面、系统地介绍了液化石油气站操作工的知识要求(应知)和操作要求(应会)。内容包括:基础知识、液化石油气概述、液化石油气储配站的运行维护、瓶装供应站的运行维护、液化石油气气化站的运行维护、液化石油气混气站的运行维护、液化石油气汽车加气站的运行维护、液化石油气灌瓶、液化石油气站管道与阀门的运行维护、液化石油气站测量仪表与气动控制系统的运行维护、液化石油气站的安全技术等。

本书是为液化石油气储灌站、储配站、储存站、灌瓶站、瓶装供应站、气化站、混气站、汽车加气站等高级、中级、初级操作工编写的“职业技能等级考试与鉴定”培训教材,也可作为中等专业学校和技工学校热能专业及城市燃气工程专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

液化石油气站操作工/丁崇功主编. —北京:化学工业出版社, 2007

燃气热力行业职业技能岗位培训用书
ISBN 978-7-5025-9877-8

I. 液… II. 丁… III. 液化石油气-供应站-技术培训-教材 IV. TU996

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 001525 号

责任编辑:董琳
责任校对:郑捷

文字编辑:向东
装帧设计:胡艳玮

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京市彩桥印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张15½ 字数403千字 2007年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:38.00元

版权所有 违者必究

编者的话

自从改革开放以来,随着社会进步和人民生活水平的不断提高,我国城市燃气、热力事业获得了前所未有的高速发展,取得了显著的社会效益、经济效益和环境效益。

随着燃气、热力事业的发展,燃气、热力行业职工队伍愈来愈庞大,而且主要是新职工,他们的专业技术水平和实际操作能力一般都不是很高;即使是老职工,也存在知识和技术更新的问题。因此,要大力加强燃气、热力行业职工的培训教育工作,不断提高他们的业务素质,以满足燃气、热力行业职工开展职业技能岗位鉴定工作的需要。

燃气是易燃、易爆、有毒的物质,在制造、储存、运输、经营和使用过程中,稍有不慎,则很容易发生火灾、爆炸和中毒事故,那就会给人民生命和国家财产造成不可弥补的损失;热力设备和管道在使用过程中也时刻存在爆炸的危险,因此,燃气、热力设备属于特种设备,燃气、热力行业属于特种行业。从事燃气、热力行业的职工,必须具备良好的职业道德和熟练的技术业务素质。为达到此目的,对燃气、热力行业的职工应先培训考试,取得资格证书后再上岗,这就需要有一套既系统地阐述燃气、热力行业各工种基础理论、专业知识和操作技能,又符合教学规律的培训用书。

本套系列培训用书是根据2002年4月建设部颁发的燃气行业27个工种的《职业技能岗位标准》、《职业技能岗位鉴定规范》、《职业技能鉴定题库》的基本内容和要求编写,将性质相近、基础理论基本相同、专业联系比较紧密的工种合编成一册,这样既减少了培训用书的总册数,又减少了各册相互重复的内容,同时便于相近工种之间的学习和渗透。液化石油气、天然气、工业锅炉和供热等工种是目前国内燃气、热力行业中量大、面广的工种,也是最急需进行职业技能岗位鉴定的工种。

本套系列培训用书共分6册,各册的书名和特别适用的工种(建设部规定的工种名称)如下:

1. 液化石油气站操作工
(特别适用于液化石油气罐区运行工、液化石油气灌瓶工)
2. 液化石油气站设备检修工
(特别适用于液化石油气机械修理工、液化石油气钢瓶检修工)
3. 工业锅炉司炉工
(特别适用于热力司炉工)
4. 供热工
(特别适用于热力运行工)
5. 燃气输配工
(特别适用于燃气输送工、燃气调压工)
6. 燃气管道工
(特别适用于燃气管道工)

我深信,这套系列培训用书的出版,将对我国燃气、热力行业职工技能的提高产生积极的作用,为燃气、热力事业的发展做出一定的贡献。

丁崇功

前 言

液化石油气 (LPG) 是一种优质燃料, 备受广大用户青睐。自从改革开放以来, 随着我国科学技术进步和人民生活水平的不断提高, 液化石油气事业得到了飞速的发展, 截止到 20 世纪末, 我国使用燃气的总人口中, 有半数以上是以液化石油气作为燃料。但液化石油气又是一种易燃、易爆的危险物质, 在制造、运输、储存、灌装和使用过程中极易发生事故。近年来, 随着液化石油气在工业生产和居民生活方面的广泛应用, 因设备故障、操作不慎、管理不善等方面原因而发生爆炸和火灾事故屡见不鲜, 归根到底, 还是由于液化石油气行业职工队伍的技术业务素质与事业的飞速发展不相适应。为了进一步提高燃气行业职工队伍素质, 满足燃气行业开展职业技能岗位培训和鉴定工作的需要, 国家建设部于 2002 年 4 月颁发了燃气行业管道工等 27 个职业技能岗位的岗位标准、鉴定规范、鉴定题库。

本书是根据 27 个职业技能岗位中的“液化石油气罐区运行工”、“液化石油气灌瓶工”的《职业技能岗位标准、鉴定规范、鉴定题库》的要求, 为液化石油气站 (指: 液化石油气储灌站、储配站、储存站、灌瓶站、瓶装供应站、气化站、混气站、汽车加气站等) 高级 (灌瓶工除外)、中级、初级操作工编写的职业技能等级考试与鉴定培训教材, 覆盖了“岗位鉴定规范”和“题库”的全部应知、应会内容。为了保持教材的科学性、系统性、完整性和避免不必要的重复, 本书不采用将高级工、中级工和初级工分开撰写的手法, 而是将每章的复习思考题按高级工、中级工和初级工分别编写, 以便于分层次培训和自学。复习思考题全部来自“题库”, 其答案寓于正文之中; “题库”中的计算题分别编排在各有关章节中, 作为计算例题, 并与书中内容衔接、吻合。复习思考题和计算例题的内容, 即为各章的教学重点。本书引用了液化石油气行业的国家最新规程、规范和标准, 反映了该行业国内、外的新成就和新技术。在编者的指导思想上注重理论与实践相结合, 更立足于实践, 力求使本书成为一本具有初步理论基础和较高实用价值的教材。本书内容包括基础知识、液化石油气概述、液化石油气储配站的运行维护、瓶装供应站的运行维护、液化石油气气化站的运行维护、液化石油气混气站的运行维护、液化石油气汽车加气站的运行维护、液化石油气灌瓶、液化石油气站管道与阀门的运行维护、液化石油气站测量仪表与气动控制系统的运行维护、液化石油气站的安全技术等。

全书共分 11 章, 由刘岗 (第 1 章), 丁崇功 (第 2 章、第 3 章、第 4 章、第 5 章、第 6 章、第 8 章、第 9 章), 李京京、任希佳 (第 7 章), 丁华嵘 (第 10 章、第 11 章) 编写。

丁崇功任主编并统稿。

本书的编写, 得到了陕西省燃气热力办公室何清堂主任、李直副主任、刘志义总工程师的大力支持和帮助, 谨致诚挚的谢意。

本书编写过程中, 参阅了有关教授、专家、学者的论著, 并引用了相关资料 (数据、图、表等), 在此表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促, 书中疏漏和不妥之处, 敬请读者批评指正。

编者

2006 年 10 月于西安

目 录

第1章 基础知识	1
1.1 流体力学基础	1
1.2 热工基础	6
1.3 机械传动常识.....	10
复习思考题	17
第2章 液化石油气概述	19
2.1 燃气的分类和组成.....	19
2.2 液化石油气的来源.....	20
2.3 液化石油气的物理化学性质.....	21
2.4 液化石油气的热力学性质.....	28
2.5 液化石油气的主要杂质及质量标准.....	32
2.6 城镇液化石油气供应系统.....	33
复习思考题	34
第3章 液化石油气储配站的运行维护	38
3.1 储配站站址选择.....	38
3.2 储配站总平面布置.....	40
3.3 液化石油气储配站工艺流程.....	42
3.4 液化石油气储罐的运行维护.....	47
3.5 液态烃泵的运行维护.....	62
3.6 压缩机的运行维护.....	69
3.7 储配站安全规程.....	78
复习思考题	79
第4章 瓶装供应站的运行维护	93
4.1 瓶装供应站的规模.....	93
4.2 站址选择.....	93
4.3 平面布置.....	94
4.4 液化石油气钢瓶的运行维护.....	94
4.5 瓶装供应站职工岗位职责	100
复习思考题.....	100
第5章 液化石油气气化站的运行维护	103
5.1 液化石油气的气化原理	103
5.2 气化升压器的运行维护	106
5.3 气化站站址选择	110
5.4 气化站平面布置	110
5.5 瓶组气化工艺与设备	111
复习思考题.....	112
第6章 液化石油气混气站的运行维护	113

6.1 混气工艺要求	113
6.2 混气站站址选择	113
6.3 平面布置	114
6.4 混合器的运行维护	115
6.5 调压器的运行维护	117
6.6 低压储气罐的运行维护	119
6.7 气化站和混气站安全规程	120
复习思考题	121
第7章 液化石油气汽车加气站的运行维护	122
7.1 液化石油气汽车加气站的由来与发展	122
7.2 液化石油气汽车加气站工艺流程	123
7.3 液化石油气汽车加气站的总平面布置	126
7.4 液化石油气汽车加气机的结构、工作原理、运行与维护	127
7.5 液化石油气潜液泵的结构、工作原理、运行与维护	131
7.6 双螺杆液化石油气抽吸泵的结构、工作原理、运行与维护	131
7.7 液化石油气汽车加气站安全规程	133
复习思考题	134
第8章 液化石油气灌瓶	136
8.1 灌瓶工艺流程	136
8.2 灌瓶车间工艺设备布置	138
8.3 托盘运输机和钢瓶运输机的运行维护	141
8.4 上瓶器、下瓶器、推瓶器的运行维护	144
8.5 残液倒空架的运行维护	145
8.6 灌装转盘的运行维护	147
8.7 灌装秤和检斤秤的运行维护	151
8.8 灌装嘴的运行维护	156
8.9 水检机组的运行维护	158
8.10 真空泵的运行维护	158
8.11 液化石油气灌瓶操作	160
8.12 灌瓶车间安全规程	162
复习思考题	163
第9章 液化石油气站管道与阀门的运行维护	175
9.1 液化石油气站管道的运行维护	175
9.2 站区阀门的运行维护	177
复习思考题	187
第10章 液化石油气站测量仪表与气动控制系统的运行维护	193
10.1 测量仪表的运行维护	193
10.2 液压与气压传动	204
10.3 气动控制系统的运行维护	205
复习思考题	212
第11章 液化石油气站的安全技术	216
11.1 液化石油气站安全运行制度	216

11.2 液化石油气站事故预防措施.....	219
11.3 液化石油气站的消防.....	223
复习思考题.....	230
附录 I 单一气体在标准状态下的物理热力学性质.....	234
附录 II 部分复习思考题答案.....	235
参考文献.....	240

第1章 基础知识

1.1 流体力学基础

流体是易于流动物体的总称，流体包括液体和气体，人们在日常生活中接触最多的流体是水和空气。

液体没有固定的形状，但有一定的体积，在重力（地球引力）作用下，液体具有自由表面；气体没有固定的形状和体积，在重力作用下也没有自由表面，总是充满所在的空间。

1.1.1 流体的力学性质

1.1.1.1 质量与重力

所有流体都具有一定的质量，因此，它也像固体物质一样受到地心的吸引力，称为重力。不同质量的物体，其重力是不相同的。物体的质量大，其重力也大；反之，物体质量小，其重力也小。相同质量的物体，随着其位于地球上的位置不同，重力也不同，在赤道位置的重力要小一些，因为赤道处的地面距地心较远，受地心吸引力较小所致；而在南、北极位置的重力要大一些，因为南、北极处的地面距地心较近，受地心吸引力较大所致。地球上所有物体所受重力均具有方向性，重力总是垂直于地面而指向地心。

1.1.1.2 流体的密度和相对密度

(1) 密度 密度是指单位体积流体所具有的质量，常用符号 ρ 表示，单位为 kg/m^3 、 t/m^3 。如 4°C 纯水的密度 $\rho_{\text{水}} = 1000\text{kg}/\text{m}^3$ ；标准状态下空气的密度 $\rho_{\text{空}} = 1.293\text{kg}/\text{m}^3$ 。

(2) 相对密度

① 液体的相对密度 液体的相对密度是指液体的密度与 4°C 时水的密度之比值，是一个量纲为 1 的量。

② 气体的相对密度 气体的相对密度是指气体的密度与标准状态下空气的密度之比值，是一个量纲为 1 的量。

1.1.1.3 流体的黏滞性

流体的黏滞性是指流体内部质点之间或流层之间因相对运动而产生的摩擦力，流体的黏滞性只有在流体流动时才能显示出来。

流体的层与层之间发生相对运动时，速度高的一层会带动速度低的一层运动，使其产生加速度，而速度低的一层又会阻止速度高的一层运动，使其产生减速度。带动力和阻力是大小相等、方向相反的一对力，称为流体的内摩擦力或黏滞力。为了克服内摩擦力，维持流体运动，就必须供给一定的能量。因此流体运动时，内摩擦力是造成阻力损失的原因。

流体的黏滞性与流体的种类和温度有关。不同种类的流体具有不同的黏滞性，如油的黏滞性比水大。

温度变化，流体黏滞性跟着变化。对于液体来说，温度升高时，黏滞性减小，温度降低时，黏滞性增大；而气体与此相反，温度升高时，黏滞性增大，温度降低时，黏滞性减小。

1.1.1.4 流体的可压缩性

流体在密闭状态下，随着压强的增加，体积减小而密度增加的性质，称为流体的可压缩性。

液体的可压缩性非常小,如纯水在常温下,当压力从 0.1MPa 增加到 10MPa 时,体积缩小不到 0.5%,因此,在工程应用中可忽略不计。而气体则具有明显的可压缩性,气体的可压缩性主要是根据理想气体状态方程而定。在等温状态下,气体的绝对压力与密度成正比,因此,气体视为可压缩性流体。

1.1.1.5 流体的热胀性

流体随着温度的升高,密度减小而体积增大的性质称为流体的热胀性。只有纯水从 0℃ 加热到 4℃ 时,体积不但不增加反而缩小,而大于 4℃ 后其体积随温度的增加而增大。当温度变化不大时,水的膨胀性不太明显,但若温度变化大时,其热胀性是不能忽视的。

气体的热膨胀性非常显著,气体的密度、体积随着温度的变化发生较大的变化。气体的热胀性主要是依据理想气体状态方程而定。在等压状态下,气体的密度与绝对温度成反比,即气体的绝对温度升高,其密度成比例减小,而体积则成比例增加。

1.1.1.6 流体的浮力

放置在流体中的物体所受到的向上的托力称为浮力。根据阿基米德定律,浸在流体中的物体所受到的浮力的大小,等于被物体所排开的流体的重力。当物体只有一部分浸在液体中时,它所受到的浮力就等于浸在液体中的那一部分物体所排开的液体的重力。

如果设物体的重力为 G ,物体在液体中受到的浮力为 P ,会出现下列三种情况:

① 当 $G > P$ 时,物体会下沉到液体的底部;

② 当 $G = P$ 时,物体可悬浮在液体中的任意位置;

③ 当 $G < P$ 时,物体浮在液体表面。此时物体浸在液体中的那部分体积所排开液体的重力等于物体的自重,物体处于平衡状态,其位置保持不变。

流体的浮力现象在工程上是经常加以利用的,如液化石油气储罐常用的浮子式钢带液位计,就是利用液体对浮子的浮力作用来反映储罐内液位的变化情况。

1.1.2 流体的静压力和静压强(习惯上常将压强称为压力)

1.1.2.1 液体的静压力和静压强

液体之所以能处于静止状态,是由于它受到了外界条件的约束,例如水箱中的水能静止不动,是因为受到了水箱底面和侧壁面的约束力,根据作用力和反作用力的原理,水对水箱底部和侧壁也有反作用力,这就是水的静压力。

作用在单位面积上的静压力,称为静压强,用符号 p 表示,单位为 Pa、kPa、MPa。

液体静压强的基本特性有:①液体静压强的方向与作用面垂直,并指向作用面;②在液体同一深度的不同位置、不同方向的静压强都是相等的;③液体的静压强随着液体深度的增减而增减,深度愈深,静压强愈大。

1.1.2.2 气体的静压力和静压强

(1) 大气压强 包围在地球周围的大气,因受地球引力的作用,对处于其中的一切物体均产生压强,称为大气压强,以符号 p_a 表示。

大气压强随着所处的纬度、高度、温度的不同而变化。经测定在纬度 45° 处的海平面上全年平均大气压强为 760mmHg (毫米汞柱),称为 1atm (标准大气压强)。1atm = 101325Pa。

(2) 绝对压强 绝对压强是指以没有气体存在的绝对真空时的压强为零点起算的压强值,以符号 p' 表示。

(3) 相对压强 相对压强是指以当地大气压强 p_a 为零点起算的压强值,以符号 p 表示。压力表测量出来的压强为相对压强,又称表压。

相对压强和绝对压强的关系为

$$p' = p_a + p \quad (1-1)$$

式中, p' 为绝对压强, Pa; p_a 为当地大气压强, Pa; p 为相对压强, Pa。

(4) 真空度 流体某处的绝对压强小于当地大气压强时, 其差值称为真空度, 也称负压。以符号 p_v 表示。

真空度与绝对压强的关系为

$$p_v = p_a - p' \quad (1-2)$$

式中, p_v 为真空度, Pa; p_a 为当地大气压强, Pa; p 为绝对压强, Pa。

真空度总是正值, 绝对压强愈小, 则真空度愈大。

(5) 绝对压强、相对压强与真空度的关系 绝对压强、相对压强与真空度的关系如图 1-1 所示。

当绝对压强大于当地大气压强时, 相对压强(表压) = 绝对压强 - 当地大气压强。

当绝对压强小于当地大气压强时, 真空度 = 当地大气压强 - 绝对压强。

计算例题 1 某设备进、出口测压仪表的读数分别是 20mmHg (真空度) 和 500mmHg (表压)。求两处的绝对压力差。(中级工)

【解】 出口压力 p_2 大于外界大气压, 而进口压力小于外界大气压, 绝对压力差为

$$\Delta p = p_2 - p_1 = (p_{\text{表}} + p_{\text{大}}) - (p_{\text{大}} - p_{\text{真}}) = p_{\text{表}} + p_{\text{真}} = 500 + 20 = 520 \text{ mmHg}$$

答: 两处的绝对压力差为 520mmHg。

计算例题 2 液化石油气循环压缩机进口压力是 1.0MPa (表压), 出口压力是 1.5MPa (表压), 其进、出口压差是多少?

【解】 $\Delta p = p_2 - p_1 = 1.5 - 1.0 = 0.5 \text{ MPa}$

答: 其进、出口压差是 0.5MPa。

计算例题 3 液化石油气泵的进口压力是 0.4MPa (表压), 回流阀压差为 0.5MPa (表压), 其出口压力是多少?

【解】 $p_{\text{出}} = p_{\text{进}} + \Delta p = 0.4 + 0.5 = 0.9 \text{ MPa}$

答: 其出口压力是 0.9MPa。

1.1.2.3 压强单位

国际单位制中, 压强单位用 Pa (帕斯卡)、kPa (千帕)、MPa (兆帕) 表示。1Pa = 1N/m²。

工程上常以 1kgf/cm² 为 1 个工程大气压, 用符号 at 表示。

$$1 \text{ at} = 1 \text{ kgf/cm}^2 = 9.807 \times 10^4 \text{ Pa}$$

在实际应用中, 经常用“液柱高”表示压强单位。例如, 某点的压强为 1mH₂O, 其含义为该点压强等于 1m 深的水对 1m² 底面积的压强。即:

$$1 \text{ mH}_2\text{O} = \rho_{\text{水}} gh = 1000 \times 9.807 \times 1 = 9807 \text{ N/m}^2 = 9807 \text{ Pa} = 9.807 \text{ kPa}$$

同理, 若某点压强为 1mHg, 则其含义为该点压强等于 1m 深的水银对 1m² 底面积的压强, 即:

$$1 \text{ mHg} = \rho_{\text{汞}} gh = 13.6 \times 10^3 \times 9.807 \times 1 = 1.333 \times 10^5 \text{ Pa} = 133.3 \text{ kPa}$$

各种压强单位之间的换算见表 1-1。

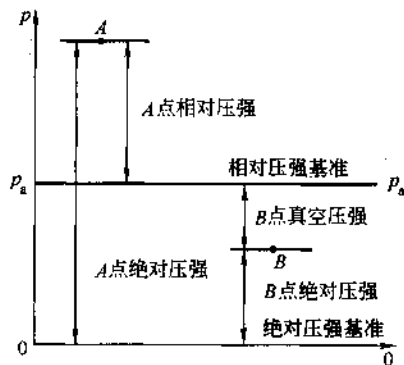


图 1-1 压强关系

表 1-1 压强单位换算

单位	Pa (N/m ²)	bar	kPa	at (kgf/cm ²)	atm	mH ₂ O	mmHg
帕	1	10 ⁻⁵	10 ⁻³	0.102×10 ⁻⁴	0.9869×10 ⁻⁵	0.102×10 ⁻³	7.5×10 ⁻³
巴	10 ⁵	1	100	1.02	0.9869	10.2	7.5×10 ²
千帕	10 ³	10 ⁻²	1	0.102×10 ⁻¹	0.9869×10 ⁻²	0.102	7.5
工程大气压	9.807×10 ⁴	0.9807	98.07	1	0.968	10	735.5
标准大气压	101325	1.0133	101.325	1.0333	1	10.333	760
米水柱	9807	0.09807	9.807	0.1	0.968×10 ⁻¹	1	73.55
毫米汞柱	133.32	1.3332×10 ⁻³	0.13332	1.36×10 ⁻³	1.316×10 ⁻³	1.36×10 ⁻²	1

计算例题 4 将 320mmHg (表压) 压力单位换算成 Pa, 分别用表压和绝对压力表示。
(高级工)

【解】 从表 1-1 中查得: 1mmHg=133.32Pa

$$320\text{mmHg (表压)} = 133.32 \times 320 = 42.7 \times 10^3 \text{Pa (表压)}$$

$$\text{又: } p' = 320 + 760 = 1080\text{mmHg} = 133.32 \times 1080 = 144.0 \times 10^3 \text{Pa (绝对压力)}$$

答: 表压、绝对压力表示分别为 $42.7 \times 10^3 \text{Pa}$ 、 $144.0 \times 10^3 \text{Pa}$ 。

计算例题 5 试将以下几个压力换算成国际单位制: 300mmH₂O、30mmHg、0.3kgf/cm²、0.5atm。(高级工)

【解】 因 1Pa=0.102mmH₂O

$$1\text{Pa} = 0.0075\text{mmHg}$$

$$1\text{Pa} = 1.02 \times 10^{-5} \text{kgf/cm}^2$$

$$1\text{Pa} = 0.99 \times 10^{-5} \text{atm}$$

$$\text{所以 } \frac{300}{0.102} = 2941.2\text{Pa}$$

$$\frac{30}{0.0075} = 4000\text{Pa}$$

$$\frac{0.3}{1.02 \times 10^{-5}} = 29411.8\text{Pa}$$

$$\frac{0.5}{0.99 \times 10^{-5}} = 5.05 \times 10^4 \text{Pa}$$

答: 300mmH₂O 的压力为 2941.2Pa, 30mmHg 的压力为 4000Pa, 0.3kgf/cm² 的压力为 29411.8Pa, 0.5atm 的压力为 $5.05 \times 10^4 \text{Pa}$ 。

1.1.3 流量和流速

1.1.3.1 流量

在存在介质流动的管道上取一与流体流动方向垂直的断面 (过流断面), 单位时间内通过该断面的流体体积或质量, 称为流量。前者称为体积流量, 用符号 Q 表示, 单位为 L/s 或 m³/h; 后者称为质量流量, 用符号 G 表示, 单位为 kg/s 或 t/h。

1.1.3.2 流速

流体在管道中单位时间内所流过的距离, 称为流速, 用符号 v 表示, 单位为 m/s。

由于流体在管道中流动时, 过流断面上各点的流速是不相同的, 为方便起见, 取断面上各点流速的平均值, 称为管道中流体的平均流速。在工程应用上所指的流速, 即为流体在过流断面上的平均流速。

当管道的断面面积 (或直径) 不变时, 流速与流量成正比, 即流速提高几倍, 流量也随之增大几倍。

计算例题 6 求把流量 150L/min 换算成 m^3/s 。(中级工)

【解】 $150\text{L}/\text{min} = 150 \times \frac{10^{-3}}{60} = 0.0025\text{m}^3/\text{s}$

答: 为 $0.0025\text{m}^3/\text{s}$ 。

计算例题 7 已知液化石油气在 $\phi 57\text{mm} \times 2.5\text{mm}$ 钢管内流动, 质量流量是 $0.9\text{kg}/\text{s}$, 密度是 $450\text{kg}/\text{m}^3$ 。试计算液化石油气的流速。(中级工)

【解】
$$v = \frac{0.9}{450 \times \frac{\pi}{4} \times 0.052^2} = 0.94\text{m}/\text{s}$$

答: 液化石油气的流速为 $0.94\text{m}/\text{s}$ 。

计算例题 8 一管路由内径是 80mm 和 40mm 的钢管连接而成, 已知液化石油气在小管中流速是 $3\text{m}/\text{s}$ 。求其在大管中流速。(中级工)

【解】 $d_1 = 0.08\text{m}$, $d_2 = 0.04\text{m}$, $v_2 = 3\text{m}/\text{s}$

$$v_1 = v_2 \times \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 = 3 \times \left(\frac{0.04}{0.08}\right)^2 = 0.75\text{m}/\text{s}$$

答: 其在大管中流速为 $0.75\text{m}/\text{s}$ 。

1.1.4 流体的阻力损失

流体的阻力损失分为两类: 沿程阻力损失和局部阻力损失。

沿程阻力损失与局部阻力损失之和即为管网总阻力损失。

(1) 沿程阻力损失 流体在运动时由于克服流体与管壁及流速不同的各相邻层之间的摩擦, 造成流体本身能量的逐渐减少 (表现为压力不断降低), 称为沿程阻力损失, 以符号 h_f 表示。

沿程阻力损失计算公式为

$$h_f = \frac{\lambda l}{d} \times \frac{v^2}{2g} \quad (1-3)$$

式中, h_f 为沿程阻力损失, mH_2O ; l 为管段的长度, m ; d 为管道的直径, m ; v 为断面的平均流速, m/s ; λ 为沿程阻力系数, 与流体的黏性、流速及管壁粗糙度有关。

(2) 局部阻力损失 局部阻力损失是指流体运动时, 由于边界条件的改变 (如三通、弯头、变径、阀门等) 造成流速改变和产生的涡流所造成的能量损失, 称为局部阻力损失, 用符号 h_j 表示。

局部阻力损失的计算公式为

$$h_j = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (1-4)$$

式中, h_j 为局部阻力损失, mH_2O ; ζ 为局部阻力系数; v 为与产生局部阻力相对应的断面平均流速, m/s 。

由式 (1-3) 和式 (1-4) 可知, 沿程阻力的大小与管道长度成正比, 与管径成反比, 与流速的平方成正比; 局部阻力的大小与流速的平方及局部阻力系数成正比, 而局部阻力系数取决于管道附件的数量和边界条件的变化, 附件愈多, 边界条件的变化愈剧烈, 局部阻力系数也愈大。

流速是影响阻力的最重要因素, 如果其他条件都不变, 若流速提高到原来流速的 2 倍, 则总阻力将是原来的 4 倍。为了克服这一阻力, 泵的扬程也要提高到原来的 4 倍, 电能的消耗同样是原来的 4 倍。因此, 用管道输送流体时, 采用过高的流速对长期运行来说是很不经济的。但是采用低流速输送流体时, 管径要增大, 建设投资要增加。由此可见, 在选用输送

管道的管径时,既要考虑到长期运行的经济性,又要考虑到节省建设资金。如何选择,应通过比较后确定。

1.2 热工基础

热工学是研究物质的热力学性质、热量传递过程的规律和特点、热能转换成机械能的规律和方法以及如何有效而合理地利用能源的一门应用科学。

1.2.1 物质的组成及状态

1.2.1.1 物质的组成

一切物体都是由物质组成的。如液化石油气站的设备和管道都是由钢制成的,钢就是物质;铜、铝、水泥、石灰、砖、玻璃、油、水、空气等都是物质。物质是由分子组成的,分子是保持物质性质的最小微粒,它非常微小,在标准状况下, 1cm^3 的气体中就含有 2.7×10^{19} 个气体分子。分子是由原子组成的。有些物质的分子是由同一种化学元素的原子组成,称为单质,如氧气是由两个氧原子组成,用分子式 O_2 表示;有些物质是由两个或两个以上化学元素的原子组成,称为化合物,如水分子是由两个氢原子和一个氧原子组成,用分子式 H_2O 表示。单质和化合物都是只由一种分子组成,如果某一种物质内含有两种或两种以上的分子时,则称为混合物,如液化石油气是由丙烷、丙烯、丁烷、丁烯等组成的混合物。

1.2.1.2 物质的状态

物质有三种状态,即固体、液体和气体。

(1) 固体 具有一定形状和体积的物质称为固体。如钢、煤、玻璃、混凝土、木材等。固体在外力作用下改变原有形状的现象称为变形,固体变形有下列三种形式。

① 弹性变形 固体在外力作用下发生变形,当外力去除后,仍能恢复其原有形状的变形,称为弹性变形。

② 塑性变形 固体在外力作用下发生变形,当外力去除后,不能恢复其原有形状的变形称为塑性变形。

③ 破裂 固体在外力作用下,完全失去原有形状而发生破坏性的变形,称为破裂。

(2) 液体 无固定形状,但有一定体积且可以流动的物质称为液体。如在常温常压下,水、油、汞等都属于液体。

由于液体分子的排列非常紧密,在通常压力下,它的体积几乎不发生变化,因此,通常认为液体是不可压缩的。

(3) 气体 无固定形状和体积且可以流动的物质称为气体。

由于气体分子排列稀疏,分子间的距离比较大,分子间的作用力很小,它们在空间做无规则运动,因此,气体不论其质量多少,总是均匀地充满存放它的容器,并且能被压缩成很小的体积。气体的体积是随着气体状态的变化而变化,为了能准确地表明气体的特性引入标准状态的概念。标准状态是指温度为 273.15K , 压力为 101325Pa 条件时的状态。在标准状态下气体体积单位用 Nm^3 表示。组成燃气的各单一组分在标准状态下的物理、化学和热力学特性见附录 I。

1.2.1.3 物态变化

同一种物质的三种状态(固态、液态、气态),在一定的条件下,能够由一种状态转变为另一种状态,这种变化称为物态变化。例如,在通常情况下,铁是固体,水是液体,空气是气体。如果将铁放在熔炉中加热到一定温度,铁就会熔化成铁水(液体);锅内的水加热到一定温度,就会气化成水蒸气(气体);而空气深度冷冻到一定的低温时,就会液化成液态空气(液体)。

在自然界中物质状态变化有下列几种形式：①物质由固体变为液体的现象，称为融化；②物质由液体变为固体的现象，称为凝固；③物质由液体变为气体的现象，称为气化；④物质由气体变为液体的现象，称为液化（冷凝）；⑤物质由固体变为气体的现象，称为升华；⑥物质由气体变为固体的现象，称为凝华。

1.2.2 能量的概念

1.2.2.1 能量守恒及转换

人类的生存离不开能源，而自然界的能源有各种不同的形式，如热能、水能、风能、位（势）能、机械能、电能以及煤、石油、天然气等化石燃料中储藏的化学能等。

自然界的各种能不会自动消灭，也不能创造，但随着物质的运动和变化，能可以由一种形式转换为另一种形式，转换前后的能量相等，这就是能量守恒定律。如位于高处的水，下落到水轮机叶轮上，推动水轮机做功，再带动发电机发电的过程，就是由水的位能转换为动能，再转换成机械能，最后转换成电能的过程。

再如汽轮发电机的工作过程也是能的转换过程。燃气在锅炉内燃烧产生高压蒸汽，推动汽轮机叶轮旋转，从而带动发电机发电的过程，也就是煤的化学能转换成热能，再转换成机械能，最后转换成电能的过程。

上面介绍的两个例子中，我们可以发现，转换后所得到的电能往往比转换前的总能量少，这是不是违反了能量守恒定律呢？根据能量守恒定律，在能的转换过程中，工质从外界获得的能量，一部分用来做功，而另一部分则被损失掉（如散热损失、阻力损失、声能损失等），做功获得的能与损失掉的能加起来恰好等于输入的总能量。

1.2.2.2 温度

温度是表示物体冷热程度的物理量，它反映了物质分子热运动的强弱程度，分子热运动愈激烈的物质，其温度也愈高。常用的温度有摄氏温度、热力学温度（开氏温度）和华氏温度。

（1）摄氏温度 在 101325Pa 绝对压力下，将水结冰时（冰点）的温度定为摄氏零度，沸腾时的温度（沸点）定为摄氏 100 度，两者之间平均分成 100 等份，每一等份为 1 个摄氏度。用符号 t 表示，单位为 $^{\circ}\text{C}$ （摄氏度）。例如：80 摄氏度可以写成 80°C ；零下 15 摄氏度可写成 -15°C 。摄氏温度非常实用，各行各业普遍采用。

（2）热力学温度 热力学温度的间隔和摄氏温度相等，只是它们的起始点不同，热力学温度是将标准大气压力下，摄氏温度的 -273.15°C ，规定为 0，则水的冰点的热力学温度为 273.15K，水的沸点热力学温度为 373.15K。热力学温度用符号 T 表示，单位为 K（开）。例如热力学温度 280 开可写成 280K。

热力学温度与摄氏温度之间的换算关系为

$$T = t + 273.15 \quad (1-5)$$

式中， T 为热力学温度，K； t 为摄氏温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

（3）华氏温度 华氏温度是英国、美国等国家较通用的一种温度，华氏温度是把标准大气压下水凝固成冰时的温度（冰点）规定为 32 华氏度，水沸腾时的温度（沸点）规定为 212 华氏度，在 32 华氏度与 212 华氏度之间平均分为 180 个等份，每一个等份就是 1 华氏度。华氏温度用符号 t_F 表示，单位为 $^{\circ}\text{F}$ 。

华氏温度与摄氏温度之间的换算关系为

$$t_F = \frac{9}{5}t + 32 \quad (1-6)$$

式中， t_F 为华氏温度， $^{\circ}\text{F}$ ； t 为摄氏温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

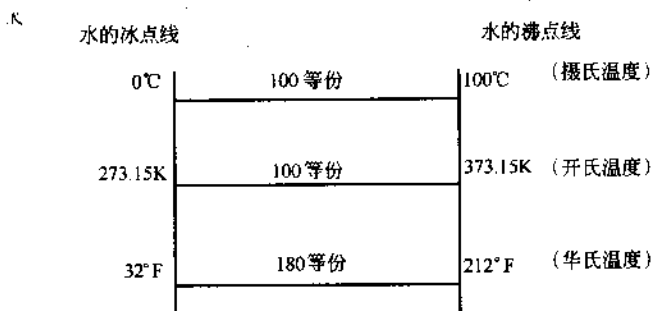


图 1-2 3 种温度之间的关系

摄氏温度、热力学温度和华氏温度三者之间的关系还可以用图来表示，见图 1-2。

1.2.2.3 功和功率

(1) 功 当人举起重物时，物体在力的方向上发生了位移，这说明力对物体做了功。功的大小等于力与物体在力的作用方向上位移的乘积。用符号 W 表示，单位为 J (焦)、kJ (千焦)。计算公式为

$$W = FS \quad (1-7)$$

式中， W 为功，J； F 为力，N (牛顿)； S 为力作用方向上的位移，m。

(2) 功率 单位时间内所做的功称为功率。用符号 P 表示，单位为 W (瓦)、kW (千瓦)。计算公式为

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-8)$$

式中， P 为功率，W (瓦)； W 为功，J (焦耳)； t 为时间，s (秒)。

计算例题 9 某离心泵在送液能力是 $4\text{m}^3/\text{min}$ 时扬程是 $31\text{mH}_2\text{O}$ ，在此情况下，轴功率是 30kW 。问此泵的总效率是多大？(中级工)

【解】 已知： $P_{\text{轴}} = 30 \times 10^3 \text{W}$ ， $H = 31\text{mH}_2\text{O}$

$$Q = \frac{4}{60} \times 10^3 \text{L/s (体积流量)} \text{ 或 } G = \frac{4}{60} \times 10^3 \text{kgf/s} = \frac{4}{60} \times 10^3 \times 9.81 \text{N/s (重量流量)}$$

$$\text{有效功率 } P_{\text{有效}} = GH = \frac{4}{60} \times 10^3 \times 9.81 \times 31 \text{N} \cdot \text{m/s} = \frac{4}{60} \times 10^3 \times 9.81 \times 31 \text{W}$$

$$\eta = \frac{4 \times 31 \times 10^3 \times 9.81}{60 \times 30 \times 10^3} = 0.67 = 67\%$$

答：此时泵的总效率为 67%。

1.2.2.4 热量和热功率

(1) 热量 热量是物体内部所含热能的数量。热量可以使物体本身的温度、体积及形态发生变化。物体具有热量的大小，与其本身质量和性质有关。如果两种质量相同的同种物体，则温度高的物体含热量多，反之，温度低的物体含热量就少，热量的单位与功的单位相同。

1kg 纯水温度升高或降低 1°C ，所吸收或放出的热量为 4.1868kJ ，相当于工程单位 1kcal (千卡)，即 $1\text{kcal} = 4.1868\text{kJ}$ 。

(2) 热功率 在日常生活和工业生产中，对物体进行热加工，不仅需要知道物体吸收或放出了多少热量，而且需要知道加热 (或冷却) 时间的长短，这就需要应用热功率的概念。所谓热功率是指单位时间内物体吸收或放出的热量。国际单位制中常用 kW 表示，工程单位制常用 kcal/h 表示，两者之间的关系为 $1\text{kW} = 860\text{kcal/h}$ 。

1.2.2.5 比热容

比热容是指单位质量的物质,温度升高(或降低)1K时,所吸收(或放出)的热量。用符号 c 表示,单位为 $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。比热容不是一个恒定的值,它与物质的种类、温度和所处的过程有关。比热容有两种形式。

(1) 比定压热容(c_p) 物质吸收热量或放出热量是在定压过程下进行的。

(2) 比定容热容(c_v) 是指物质吸收热量或放出热量是在定容过程下进行的。

在实际工程中,知道了某种物质的比热容,就可以计算出它在加热或冷却时所吸收或放出的热量。用下列公式计算

$$Q = mc(T_2 - T_1) \quad (1-9)$$

式中, Q 为物质吸收或放出的热量, kJ ; m 为物质的质量, kg ; c 为物质的比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; T_1 为物质吸收(或放出)热量前的温度, K ; T_2 为物质吸收(或放出)热量后的温度, K 。

计算结果如 Q 为正值,则表示物体处于加热过程,温度逐渐升高;如 Q 为负值,则表示物体处于放热过程,温度逐渐降低。

1.2.3 热量传递

热量的传递是工程技术中经常遇到的问题,在自然界和人们日常生活中也经常遇到热量的传递问题。热量总是由温度高的物体向温度低的物体传递;在同一物体中,如果各部分温度不同,热量也会由高温部分向低温部分传递。热量的传递有三种基本形式:热传导、对流换热、辐射换热。

(1) 热传导 热传导是指直接接触的物体各部分之间不发生相对位移时的热量传递过程,也称导热。如在锅炉打焦时,司炉将金属打焦棒一端插入炉内,不久,手握的这一端也变热、烫手,这说明热量从焦块通过金属棒传递,但金属各部分物质之间并没有发生相对位移。

从微观分析,固体金属,主要靠金属自由电子的运动进行导热;非金属固体和液体,主要靠分子、原子在平衡位置附近的振动进行导热;气体,主要靠分子热运动时相互碰撞进行导热。

物质的性质不同,其导热性能也不同。一般说来,金属的导热性能最好,称为导热体;气体的导热性能最差,液体的导热性能介于金属与气体之间;非金属固体的导热性能在很大范围内变化,其中导热性能好的与液体接近,导热性能差的接近甚至低于空气的导热性能。

(2) 对流换热 流体与固体壁直接接触所发生的热量传递过程,称为对流换热。

对流换热过程热量传递是靠两种形式完成的。一是对流,流体质点不断运动和混合,把热由一处带到另一处;二是由于流体与壁面以及流体各处存在温差,热量也必然会以导热方式传递,而且温度梯度愈大,导热作用也愈显著。流体的流动起因、流动状态、流体的种类和物性、壁面几何参数等因素都会影响对流换热过程,可见对流换热过程是一个比较复杂的物理现象。

(3) 辐射换热 当打开正在燃烧的锅炉炉门加煤时,司炉工立刻会感到一种灼热感,当炉门关上后就没有这种感觉,这说明炉膛内燃烧的燃料所产生的热量直接投射到人体。这种靠热射线将热量直接由热物体向外散射的传热方式称为辐射。太阳也是靠辐射的方式将热量投射到地球上,而太阳与地球之间有很长的距离是真空区域,这说明辐射热量可以在没有中间介质的情况下传递。这是热辐射换热区别于导热和对流换热的基本特点。实际上辐射是通过电磁波来传递能量的,其中由于热的原因而发射辐射能的现象,称为热辐射。热射线由波长 $0.1 \sim 100 \mu\text{m}$ 的红外线、部分紫外线和少量可见光组成。