

中等职业技术学校

就业训练及岗位培训

水下作业专业教材



潜水技术

QIANSHUI JISHU



中国劳动社会保障出版社

中等职业技术学校
就业训练及岗位培训

水下作业专业教材

潜水技术

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

潜水技术/马洪飏主编. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2005
ISBN 7-5045-2124-8

I. 潜… II. 马… III. 潜水—技术 IV. P754.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 013309 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

煤炭工业出版社印刷厂印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 8 印张 200 千字

2005 年 6 月第 1 版 2005 年 6 月第 1 次印刷

印数: 4000 册

定价: 15.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64911190

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

前 言

潜水,作为人类与大自然作斗争的一种手段,随着人类社会生产和科学技术的不断发展,已成为一门独立的技术学科。特别是近20年来,世界人口剧增,陆地资源告急,世界各国尤其是发达国家纷纷将注意力转向人类赖以生存的重要空间——海洋,并随着人类对海洋战略意义的认识及海洋资源的开发,海洋已成为国际政治、经济和军事斗争的新焦点。因此,打开世界海洋资源宝库大门的金钥匙——潜水技术,同其他科学技术一样,受到世界各国的重视并得到迅速发展。

我国的潜水技术在解放前是一项空白,解放后,特别是20世纪70年代以来,随着国家经济建设、国防建设和科学技术的飞跃发展,包括潜水学、潜水装备和潜水作业在内的潜水技术都得以快速发展。

潜水技术在经济建设、国防建设和科学研究事业中,已成为一种不可或缺的技术门类。它在援潜救生、沉船打捞、水下勘察、清理航道、水下爆破、海洋科学考察试验、电缆铺设、桥梁建筑等领域,以及海水养殖与捕捞方面都得到广泛应用。

为推进职业技术教育更好地适应地区经济的发展和劳动力技能水平的提高,加快特殊工种技能人才的培养,满足职业技术学校的教学需要,我们组织编写了本教材,供中等职业技术学校相关专业和从事与潜水有关工作的人员学习和使用。

大连市劳动保障部门培训机构、大连北方龙翔潜水有限公司参与了教材的编写工作,在此表示衷心的感谢。由于水平所限,不当之处在所难免,恳切希望广大读者对本教材提出宝贵的意见和建议,以便修订时加以完善。

劳动和社会保障部教材办公室

2005年3月

简 介

本书为全国中等职业技术学校水下作业专业和沿海城市就业训练及岗位培训教材。主要内容包括潜水物理学常识、潜水生理学和医学知识、潜水作业的组织、特殊条件下的潜水及作业要求、海峰—Ⅱ型水下电视系统、水下焊接与切割、水下爆破等。

本书也可作为职业培训教材。

本书由马洪飏主编，姜兴泰、都兴树、吴基厚、李伟、姜敏祥参加编写，韩冬雪审稿。

目 录

第一章 潜水物理学常识.....	(1)
§ 1—1 水的密度和比重.....	(1)
§ 1—2 水的温度、浮力、阻力与潜水员的稳度.....	(1)
§ 1—3 静水压.....	(5)
§ 1—4 气体定律.....	(6)
§ 1—5 气体的其他特性.....	(8)
第二章 潜水生理学.....	(12)
§ 2—1 解剖学与生理学基本知识.....	(12)
§ 2—2 水下环境对潜水员机体的影响.....	(15)
§ 2—3 高气压对机体的影响.....	(19)
第三章 潜水医学理论.....	(22)
§ 3—1 高气压下惰性气体在体内的饱和及其规律.....	(22)
§ 3—2 减压表的计算.....	(24)
§ 3—3 潜水疾病及事故.....	(27)
第四章 潜水作业的组织.....	(37)
§ 4—1 组织潜水作业的原则和潜水准备工作.....	(37)
§ 4—2 潜水作业的实施.....	(38)
§ 4—3 空气自携式潜水装具.....	(40)
§ 4—4 空气管供式潜水表具.....	(46)
第五章 特殊条件下的潜水及水下作业要求.....	(49)
§ 5—1 特殊条件下的潜水.....	(49)
§ 5—2 水下各种作业及要求.....	(51)
第六章 水下摄像器材及其基本操作.....	(54)
§ 6—1 CM—40 型水下电视摄像机.....	(54)
§ 6—2 海峰—II 型水面控制台.....	(57)
§ 6—3 MK—13 型水下照明灯.....	(62)

§ 6—4 水下摄像基本知识·····	(63)
第七章 水下焊接与切割·····	(66)
§ 7—1 基础知识·····	(66)
§ 7—2 水下湿法焊接技术·····	(66)
§ 7—3 水下手工电弧焊的施工组织·····	(91)
§ 7—4 水下氧弧切割技术·····	(93)
第八章 水下爆破·····	(100)
§ 8—1 炸药·····	(100)
§ 8—2 起爆方法与起爆器材·····	(101)
§ 8—3 水下爆破作业·····	(106)
§ 8—4 安全事项·····	(110)
附录一 六十米水下阶段减压法潜水减压表使用说明·····	(113)
附录二 治疗减压表使用说明·····	(120)

第一章

潜水物理学常识

§ 1—1 水的密度和比重

密度是指单位体积物质所含的质量,单位为 g/cm^3 。比重是指某物质的质量与 4°C 时同体积纯水的质量之比。

在 4°C 时, 1 cm^3 纯水的质量被定义为 1 g , 作为质量的单位。 4°C 时纯水的密度为 $1\text{ g}/\text{cm}^3$ 。

在数值上,水的密度和比重都是 1。比重大于 1 者,为比重大;比重小于 1 者,为比重小。水中溶有盐类(海水中主要有钠盐、镁盐、钙盐等)或其他物质时密度和比重也相应增大。

淡水通常是指含盐量较少的江、河、湖泊里的水。海水的含盐量较淡水为多,通常为 $30\sim 35\text{ g/L}$ 。我国海水的含盐量,黄海为 32.7 g/L 、南海为 34 g/L 、东海为 $34\sim 35\text{ g/L}$ 。海水的密度大于淡水,比重也大于淡水,约为 $1.025\sim 1.03$;海水的密度约为 $1.03\text{ g}/\text{cm}^3$ 。在 4°C 时, 1 kg 淡水的体积为 1.000 L 。

水的密度和比重,与进入水中的物体所受浮力有很大关系。例如,在淡水中沉没的物体,在海水中可能不会沉没。

水在受压时,其体积的缩小远不像空气受压时体积缩小得那样显著。当施加压力为常压的 200 倍时,其体积缩小仅约 1%。水的压缩效果极小,基本上是一种“不可压缩的流体”。水的密度一般也不因为水受压而增大。

在人体组织中,水占体重的 70% 以上,体内其他物质又多溶解于水中。这一特点值人体的细胞、组织在受到压力作用时所产生的纯物理反应,与水有相似之处,即有“不可压缩性”。水的这一特性十分重要。事实上,潜水员下潜必须呼吸压力与外界所到深度压力相等的气体,这样机体内外压力完全相等,不存在不均匀受压问题。

§ 1—2 水的温度、浮力、阻力与潜水员的稳度

一、水的温度

物质温度升高时所需的热量称为物质的热容量。加热 1 g 物质,使其升高 1°C 的热容量称为比热。

海水的温度受水深、地域、日照时间、季节、气候、海流等因素的影响,会有很大差异。

太阳的辐射热量是海水温度升高的主要热源。因为海水的比热大,加热表层水温需要较多的热量,太阳的辐射热量通过水的传导只能达到一定的深度。所以,不同深度的海水温度

不同。一般来说,海水的表层温度较高。海水表层向下是中间层,其温度比表层温度低,在这一层温度下降速度很快。从中间层再向下直到海底为下层,在这一层温度不断降低。

在海水各层中,表层温度虽有变化,但变化比较缓慢,相对比较稳定,称为等温层;中间层受各种因素影响,变化较大,特别是随温度增加变化明显,故称剧变层;下层随深度增加,温度渐降,比较恒定,故称渐变层。

水温在任何海域都低于人的体温,潜水时如不穿潜水服,皮肤直接与水接触,将会根据皮肤温度与水温之间的温差梯度,丧失大量体热。水的导热系数比空气大 25 倍,在水中主要以传导方式散失机体的热量。同时,与皮肤直接接触的水分子层,受皮肤加热后,由于水的不断流动而很快离开,也带走很多人体的热量,这种方式属于对流散热。人在水下以辐射方式散失热量是极少的,在呼吸寒冷的氮氧混合气时,从呼吸道散热也是人体热量散失的主要原因。

因此,潜水时所遇到的水温问题,实际上是寒冷问题。由于机体散失大量体热,人无法在水下停留较长时间,也无法有效地进行作业,还易发生减压病。

人体感到舒适的水温大致为 21°C , 低于这一温度时,潜水员会感到寒冷。当机体在水中散热超过了身体的失热限度时,如不采取保暖措施,就会发生问题。据研究,人体能忍受的失热限度为 837 kJ/m^2 。

人体各组织的比热是不一样的,整个人体的平均比热约为 $3.475\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ 。通常,人的体温下降到 30°C (下降 7°C) 时,即会失去知觉。

二、浮力

任何浸在水中的物体,都处在两种力的作用之下。一种是物体本身受到的重力,其方向向下。另一种力是使物体浮起的力,其方向向上,称为浮力。浸在水中的物体受到向上的浮力,浮力的大小等于该物体排开同体积水的重量,这就是浮力定律。

如果一个物体的重力超过浮力,则物体下沉;如浮力超过重力,则物体漂浮;如重力与浮力相等时,物体可以停留在水中任何位置,即物体在水中呈悬浮状态。

水的浮力取决于它的比重,海水的比重大于淡水,故同一种物体在海水中比在淡水中容易上浮。

人体的比重一般比水稍大一些,成年人呼气时的比重为 $1.02\sim 1.07$,身体的重量也就比排开水的重量稍大一些,所以人体会下沉。人的比重随胖瘦程度不同而有很大差异,胖者比瘦者比重小,所以胖者更易浮起。吸气时,人的比重为 $0.96\sim 0.99$,较水的比重稍小。游泳者在深呼吸时,胸腔充气体积增大,排水量增加,从而使向上的浮力增大。

潜水员着装具下潜时,由于体积的增加大于重量的增加,形成正浮力,潜水员无法下潜,所以必须佩戴压铅以抵消正浮力。潜水员在水中的浮力应为较小的负值,这样潜水员才能获取较好的稳性。

压重物增加负荷力的标准:第一,不仅能使潜水员潜到水底,而且要保证在正浮力增加的倍况下,潜水员不致从水下浮到水面;第二,不宜过重,否则将造成潜水员水下活动的困难。

潜水员在水下,对正负浮力的调节是通过改变潜水服内的气体量来实现的。

潜水员上升出水时,如潜水服内留气过多快速冷出水而,称为放漂,可导散减压病、外伤等严重后果。潜水员下潜时,潜水服内的气体被压缩,如排气过多,供气不足,下潜过快,可发生挤压伤。

所以,潜水员正确掌握沉浮规律,既可获得在水中的自由,也可比较省力、安全、有效地完成各种潜水作业。

三、水的阻力

人在水中活动时要受到水的阻碍,这种阻碍运动的力就是水的阻力。由于水的密度要比空气大 774 倍,人在水中移动跟水碰撞时,就能清楚地感到水的阻力。

身体在水中移动时,产生阻力的原因有:(1)身体移动会与水相碰撞。(2)人在水中活动时,搅动的水会遇到水内部的摩擦阻力。(3)潜水员自身活动时还会造成各种水的流动,在流动速度不同的各部分之间会发生内摩擦力,潜水员搅动的那部分水与临近部分的水之间的摩擦就构成阻力。(4)水的流动还会对其后续动作造成阻力。

阻力的大小跟水与物体的相对运动速度、物体的形状以及物体与水的接触面积有关。潜水员在水中活动的动作幅度越大、速度越快,它所受到的阻力就越大。当水流动时,尤其是在流速较快的水流中逆水行进时,阻力更大。湍急的水流会给潜水员水下活动带来极大困难,甚至完全不能移动,更无法进行水下作业。

四、潜水员的稳度

潜水员在水下为完成各项工作,必须采取各种相应的姿势,如垂直、半屈、跪位、侧卧、仰卧或俯卧位等。不论采用什么体位,潜水员总是力求使自己保持稳定,并通过排气调整,使其能长时间稳定地进行工作。

潜水员在水下停留的过程中,保持在各种条件下舒适而又方便的身体平衡稳定的程度,称为潜水员的稳度。

以通风式重潜水装具为例,潜水员的稳度主要取决于重心和浮心的位置关系。人在不同体位时,重心和浮心的位置关系不同,如潜水员要保持稳定的直立位置,那么他的重心和浮心必须在人体的长轴上,而且重心的位置必须低于浮心,如图 1—1 所示。

当潜水员在水下长时间地处于跪位或卧位工作时,如要保持充分的稳度,既要有较大面积的支撑点(重心越低,支撑面越大,稳度越好),又要有接近于零的微小正浮力,才能有效地进行各种作业动作。因此,潜水员必须学会调整压铅的位置,并善于调节潜水服内的气量。重心的位置与压铅的佩挂有很大关系,压铅佩挂不当或失落时,重心位置会发生改变,潜水员要维持稳度就会遇到困难。

1. 重心位置过高

压铅位置过高,潜水员下水后重心将在浮心之上,将会感到头重脚轻,不仅容易倾倒,而且可能发生头朝下、脚朝上的身体倒置状态。如果压铅挂得过高,潜水员在水下又采取了弯身的体位,如想改变成直立体位时,将十分困难,如图 1—2 所示。

2. 重心位置过低

压铅挂得过低,重心将在浮心之下。这种情况会给潜水员造成过度的稳度,虽不易倾倒,但要弯身就比较困难,甚至要想在水下移动或进行与弯身有关的作业时,会变得十分困难,如图 1—3 所示。

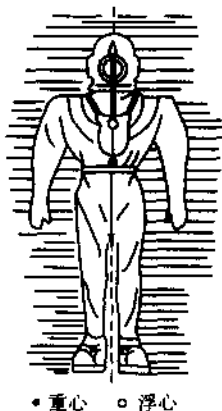


图 1—1 直立体位的稳度

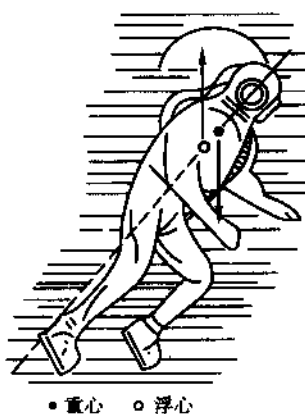


图 1—2 压铅过高重心在浮心之上

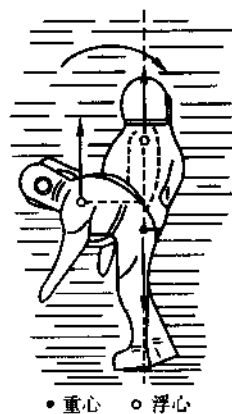


图 1—3 压铅过低重心在浮心之下

3. 重心偏向一侧

潜水员取直立体位，而其重心和浮心都不在人体长轴上时，身体将朝重心所在的一侧倾倒。

(1) 重心偏前（或后）：压铅在胸前佩戴过低时，背压铅过高，重心前移，可引起前倾或前翻；背压铅过低，胸前过高，重心后移，可引起后倾或后翻。

(2) 重心偏左或（偏右）：当一侧悬挂压铅的绳子断开或一只潜水鞋失落时，潜水员重心都会移向一侧，身体就会向对侧倾斜，以致无法工作，如图 1—4 所示。

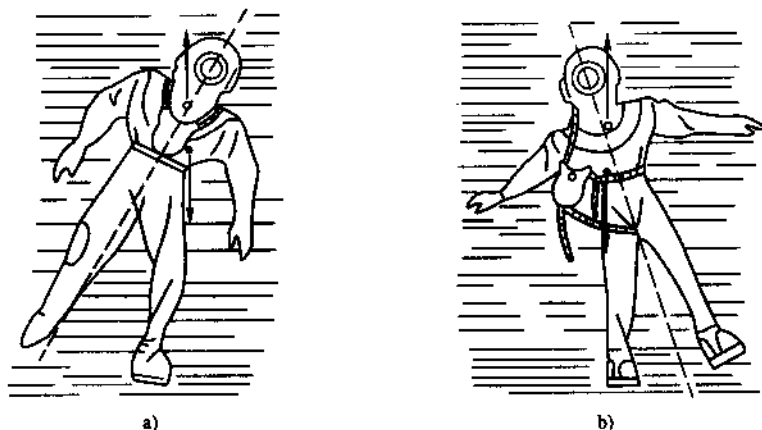


图 1—4 重心偏于一侧时身体倾倒的情形

a) 右脚潜水鞋失落时，重心向左移，身体向左倾

b) 左侧压铅绳断脱，重心右移，身体向右倾

应当指出，潜水员的稳度虽然主要决定于重心和浮心的位置关系，但也不能忽视潜水员自身的调整作用。在正常情况下，由于各种因素所造成的任何体位平衡的破坏，潜水员都会反射性地设法使身体恢复到平衡状态，只有在极端情况下，才会使潜水员出现倾倒状态。潜水员的这种主动调整，会消耗较多的能量并产生疲劳，甚至被迫在未完成任务之前提早出水。浮力和稳度调整不好也容易发生事故。

§ 1—3 静 水 压

在水下环境各种因素中,静水压的变化是引起潜水员发生生理变化或病理改变的主要因素,也是世界各国向深海发展的最大障碍。

一、静水压的成因

静水压是由水的自身重量形成的。在水面以下不同深度,物体单位面积上所承受的水的重量,即为该面积上所受的静水压。静水压的大小决定于水的比重和水深。

$$p = hd$$

式中 p ——静水压, Pa;

h ——水深, m;

d ——水的比重, t/m^3 。

从式中可以看出,当水的密度不变时,水越深,静水压越大;当水深不变时,水的密度越大,静水压越大。因而水下是高压环境。

二、静水压的计算和表示方法

潜水中,通常用大气压为计量单位来表示静水压的大小。

1. 大气压

地球表面由大气层包围,它具有复杂、多层的构造。与所有物体一样,大气具有重量,大气所受的重力会对地球表面物体造成压力。单位面积上所承受的大气柱的重力即为大气压。

大气压是普遍存在的,地球表面上的所有物体都处于压力平衡之中。在海平面上,大气压被认为是恒定的。虽然随着地面和空气的局部不均匀加热,大气压会发生变化,但这种变化幅度不大,在潜水中可忽略不计。

大气压随着海拔上升而减小,在任何高度上的压力等于位于其上方空气的重量。在海拔 1 000 m 以下,每升高 10.5 m,大气压力就降低 1 mmHg;再向上由于空气逐渐稀薄,大气压力降低较慢。在山地(高山湖)潜水,这个数值是应考虑的,它对潜水者的安全有实际意义。通常所说的 1 个大气压,是指当温度为 0℃ 时,在纬度 45° 的海平面上所承受的大气重力。

注意:大气压的标准单位为 Pa,但实际潜水中的潜水仪表及参考数据多用标准大气压(ATA)作为单位,换算时 $1 \text{ ATA} = 10^5 \text{ Pa}$ 。

在潜水作业中,时常要用具体的数但表示压强,1 个大气压的压强数值,可表达为:

(1) 水银柱的高度: 760 mmHg。

(2) 水银柱的重量: 可由水银柱的高度和水银的比重算出。在 1 个大气压下,水银柱的高度为 76 cm。水银的比重是水的 13.6 倍,所以,海平面上每平方厘米面积上所承受的压强为: $13.6 \text{ g/cm}^3 \times 76 \text{ cm} = 1\,033.6 \text{ g/cm}^2$ 。

(3) 水柱的高度

1) 淡水柱的高度: 由于水银密度是水密度的 13.6 倍,所以,相当于 1 个大气压的淡水柱高度为 $0.76 \text{ m} \times 13.6 = 10.336 \text{ m}$,通常取 10.3 m 淡水柱高的重量作为 1 个大气压。

2) 海水柱的高度: 海水的比重为 1.03。所以,相当于 1 个大气压的海水柱的高度为 $10.3 \text{ m} \div 1.03 = 10 \text{ m}$ 。

由此可见,进行潜水时,在淡水中每下潜 10.3 m,在海水中每下潜 10 m,就要多承受一个大气压的静水压。

2. 液体压强

海水深度每增加 10 m,增加一个大气压。在海洋最大深度 11 000 m 处,其压强为 1 100 个大气压(静水压)。静水压随深度变化是十分规则的,潜水员站在水下,如果其身高为 1.7 m,则其脚上承受的静水压要比头部大 0.17 个大气压。

(1) 绝对压 单位面积上实际承受的总压强,称为绝对压。

在海水中,压强是由水本身的静水压和水面上大气的重量形成的。

人在水下时,实际承受的压力为其所处深度的水柱重量及水面上大气柱重量之和,这两部分加在一起即为绝对压。例如,人潜至水下 30 m 处,所承受的绝对压等于空气中的 1 个大气压加上静水压 3 个大气压,等于 4 个大气压,称为绝对大气压(ATA)。

(2) 附加压 单位面积上所承受的,除去大气压之外的那部分压强,称为附加压。附加压和绝对压之间的关系为:

$$\text{附加压} = \text{绝对压} - \text{空气大气压}$$

在潜水作业中遇到的附加压实际上就是静水压。

通常,压力表、减压表、血压计等都以大气压强为基值。当被测压强的绝对压强数值为 1 个大气压时,压力表上的指针将在零位,所以压力表上指示的数值都是附加压数值,因此附加压也称表压。

三、静水压对潜水员呼吸气体体积和压强的影响

由于静水压作用在潜水员的胸廓,当此压力大于吸气肌收缩的力量时,人便不能正常呼吸。所以,人在水下必须呼吸与所在深度处压力相等的压缩气体。如果呼吸气体的压力低于静水压,脚廓将被挤压,呼吸发生困难。

潜水时潜水员承受的绝对压,随水深增加而升高,随水深减小而降低。

静水压和潜水时所用呼吸气体的体积都与压强有密切的关系。当温度值定时,气体的体积与压强成反比。所以,在水下一定量的气体受到静水压作用时,其体积和压强均会发生改变。当水深增加,即静水压加大时,气体压缩,体积变小,压强增高(与该深度绝对压平衡);当水深减小时,气体膨胀,体积增大,压强降低。

潜水员在水下呼吸一定量的气体时,无论是潜水胀内,还是机体内各含气腔室的气体压强和体积都随静水压的改变而改变。

潜水员下潜过程中,尤其是最初阶段,因气体体积被压缩的比例较大,如向潜水服内供气不足,适应不了下潜速度,潜水胀内压低于外界水压,潜水员将产生挤压伤;相反,在潜水员上升出水临近水面阶段,由于气体体积膨胀比例较大,会增加上升速度,如这时潜水员屏住呼吸,肺内气体排出不畅,可使肺内压剧增而引起肺气压伤。

§ 1—4 气体定律

气体既没有一定的形状,也没有固定的体积,而且在受到压力作用后,体积还会缩小。气体的这些特性,决定了它具有明显的扩散性和可压缩性。

空气的成分比较固定, 氮气占 78%, 氧气占 21%, 还有 0.94% 的惰性气体 (氦、氖、氩、氪、氙等) 以及 0.06% 的二氧化碳、水蒸气、灰尘和其他杂质。

一、气体体积同压强的关系

当温度不变时, 一定质量的气体体积同它的压强 (绝对压) 成反比。

$$p_1 : p_2 = V_2 : V_1 \text{ 或 } p_1 V_1 = p_2 V_2$$

式中 p —— 气体的压强;

V —— 气体的体积。

气体定体还可以这样叙述: 当温度不变时, 一定质量气体的压强和体积乘积是一个恒量。例如: 气体的体积为 8 L 时, 压强为 10^5 Pa, 若体积缩小到原来体积的 $1/2$ 、 $1/4$ 、 $1/8$ 时, 则压强增加到原来的 2、4、8 倍。

二、气体的压强同温度的关系

当体积不变时, 一定质量气体的温度每升高 1°C 时, 其压强的增加等于它在 0°C 时压强的 $1/273$ 。

$$p_t = p_0 \left(1 + \frac{t}{273} \right)$$

式中 p_t —— 温度升至 $t^\circ\text{C}$ 时气体的压强;

p_0 —— 温度在 0°C 时气体的压强。

当体积不变时, 其压强和绝对温度成正比, 即:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{273t_1}{273t_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

三、气体的体积同温度的关系

当气体的压强不变时, 温度每升高 1°C , 一定质量气体的体积就增加其 0°C 时体积的 $1/273$ 。

$$V_t = V_0 \left(1 + \frac{t}{273} \right)$$

式中 V_t —— 温度升高到 $t^\circ\text{C}$ 时气体的体积;

V_0 —— 温度在 0°C 时气体的体积。

四、气体的体积、压强、温度之间的关系——气态方程

前面所讨论的三个定律, 只有在压强、体积、温度三个量中一个量不变的情况下, 才能推算出其他两个量的关系。但是, 在自然界所发生的现象里, 决定气体状态的三个物理量——压强、体积、温度往往同时发生变化。因此, 确定一定质量气体的压强、体积、温度在变化中的相互关系是很重要的。

气体方程的公式为:

$$K = \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

式中 p_1 —— 初压;

V_1 —— 最初体积;

T_1 —— 最初温度 (绝对温度);

p_2 —— 最终压强;

V_2 ——最终体积；

T_2 ——最终温度（绝对温度）；

K ——常数。

上式称为气态方程。从气态方程可以知道，一定质量的气体，其压强、温度和体积三个参数都为变量时，气体的压强与体积的乘积和绝对温度成正比。

五、气体分压

互不起化学作用的气体混合在一起，由于各种气体的分子运动而均匀地混合。混合气体所产生的压强叫总压，而组成气体各自所产生的压强称为分压。

当温度不变时，混合气体的总压等于各组成气体的分压之和。

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \cdots + p_n$$

式中 p ——混合气体的总压；

p_1 、 p_2 、 p_3 、 $\cdots$ 、 p_n ——各组成气体的分压。

由各组成气体的分压，可以求出混合气体的总压。由混合气体的总压和组成气体在混合气体中所占的百分比，也可以推算出某一组成气体的分压值，其公式为：

$$p_1 = p \cdot \frac{C}{100}$$

式中 p_1 ——某一气体的分压；

C ——某组成气体在混合气体中的百分比；

p ——混合气体的总压。

混合气体中某一组成气体对生理机能的影响和作用，取决于该气体的分压值。如在压缩空气中各组成气体的百分比没有改变，但各种气体的分压值却可随着总压的升高而升高。

§ 1—5 气体的其他特性

一、气体的密度

与固体和液体相比，气体的密度很小。在不同的压强下，气体的体积会发生明显的变化，同时气体的密度也会发生相应的改变。例如：在标准状态下，空气的密度是 1.3 g/L，在 5 个标准大气压下，因空气体积缩小成常压时的 1/5，故其密度也随之增加 5 倍，为 6.5 g/L。气体的密度与压强成正比。在 0℃ 和 1 个标准大气压下，1 L 气体的质量，称为气体的标准密度。各种气体的标准密度见表 1—1。

表 1—1 气体的密度（在 0℃，1 个标准大气压下）

气体名称	密度 (g/L)	气体名称	密度 (g/L)
空气	1.30	氢气	1.79
氦气	0.09	二氧化碳	1.97
氩气	0.18	氮气	3.37
氟气	0.90	氙气	5.88
氯气	1.26	氡气	9.78
氧气	1.43		

在实际中,通常以空气密度为1,其他气体的密度与空气密度的比值(在温度与压强相同的条件下)称为相对密度。各种气体的相对密度见表1—2。

表1—2 各种气体的相对密度(空气密度为1)

气体名称	相对密度	气体名称	相对密度
氢气	0.069 5	氫气	1.379
氦气	0.138	二氧化碳	1.529
氖气	0.695	氦气	2.868
氮气	0.967	氙气	4.525
氧气	1.105	氡气	7.526

气体的密度与呼吸阻力有关。气体密度增加,呼吸阻力增大,这将对呼吸肌的负荷及肺的换气功能有一定的影响。因此,在研究水下呼吸生理和设计、检验潜水呼吸器时,就必须考虑气体密度这一因素。比如,氮气的密度比氦气小,那么在相同压强下,氮气的呼吸阻力就比氦气小。

二、气体在液体中的溶解

气体与液体接触时,气体分子运动扩散入液体内直至平衡。气体溶解于液体,是气体分子分布在液体分子的间隙内,而不再是游离状态。

在一定温度和标准大气压下,一种气体能够溶解于1 L的某种液体中,称为该气体在该液体内的溶解系数。溶解系数大表示该气体在液体中的溶解量多。

1. 各种气体的溶解系数与温度的关系

在不同温度下,气体的溶解系数不同。一般温度越高,气体的溶解系数越小(氦气在温度超过30℃后溶解系数将会增加)。

气体在液体中的溶解除了受上述溶解系数、温度等因素的影响外,还受到其他因素的影响。

2. 气体的溶解量与气体分压的关系

在一定温度下,气体的溶解量与气体的分压成正比。分压越高,溶解量越大。混合气体中多种气体同时溶于一种液体时,各气体的溶解量与各自的分压成正比,而与混合气体的总压无关。

3. 气体的溶解与液体性质的关系

在一定温度下,同一气体在不同液体中的溶解系数不同。例如,在一个容器中装两种互不混合的液体(如油和水),在其中溶解某一气体,那么气体在两种液体中的溶解量是不同的。一种物质在不同溶剂中的溶解系数之比,称为公倍数或溶比。某一气体在脂类和在水中的溶解系数之比,称为该气体的脂水溶比。各种气体的脂水溶比是不同的,见表1—3。

表1—3 气体的溶解系数和脂水溶比

气体名称	在水中的溶解系数(37℃)	在油中的溶解系数(37℃)	脂水溶比
氢气	0.016	0.045	2.8
氦气	0.008 5	0.015	1.7
氖气	0.013	0.067	5.2
氧气	0.024	0.120	5.0

续表

气体名称	在水中的溶解系数 (37℃)	在油中的溶解系数 (37℃)	脂水溶比
氢气	0.026	0.140	5.4
二氧化碳	0.560	0.876	1.6
氟气	0.045	0.430	9.0
氙气	0.085	1.700	20.0
氯气	0.150	19.00	126.0

三、气体的扩散

物体中的分子,通过分子运动进入另一物体内部,这种现象叫做扩散。一种气体和另外一种气体接触时,两种气体可凭借扩散作用而均匀混合。气体和液体接触,气体分子也可凭借扩散作用而溶入液体中,直至平衡,这就是气体的溶解。气体张力不等的两部分液体相接触,气体分子将从张力高的一侧向张力低的一侧扩散,直至平衡,这就是气体的扩散。

由此可见,气体能靠分子运动逐渐均匀扩散于全部空间,即使起初气体分子的分布不均匀,但终将通过扩散作用均匀分布。

气体扩散的速度主要受气体分压、分子量或密度、气体的溶解系数等因素的影响。气体的扩散总是从分压高处移向低处。分压差越大,扩散的速度也越快,两者成正比关系。

在相同的分压和温度下,气体扩散的速度与它的分子量或密度的平方根成反比。气体扩散速度还与气体的溶解系数成正比。

气体在机体内的扩散过程除了受到上述物理因素的影响外,同时还要受到血液灌流量、扩散面积等因素的综合影响。

四、气体的比热和热传导

1. 气体的比热

质量为 1 g 的物质,温度升高 1℃ 时所吸收的热量叫做该物质的比热。比热的单位为 $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$ 。

当气体受热时,体积和压强都要发生明显的改变,这对气体比热影响较大。因此必须分别在压强不变,或体积不变的情况下研究气体的比热。前者称为等压比热,后者称为等容比热。

等压比热值要比等容比热值大。气体在等压过程中比在等容过程中吸收的热量要多些。各种气体的比热见表 1—4。

表 1—4

各种气体的比热

单位: $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$

气体名称	等压比热	等容比热
空气	1.00	0.71
氢气	1.05	0.75
氟气	0.92	0.67
二氧化碳	0.84	0.63
一氧化碳	1.05	0.75
氦气	14.23	10.09
氯气	5.23	3.14