

潜水气体

李晓虹 编著



海洋出版社

责任编辑：杨传霞

封面设计：徐蓓蓓

QIANSHUI QITI

ISBN 978-7-5027-6898-0



9 787502 768980 >

ISBN 978-7-5027-6898-0/G·1932

定价：58.00元

潜水气体

李晓虹 编著

海洋出版社

2007年·北京

内容简介

本书介绍了潜水气体的基础知识和有关分析方法,对空气潜水、混合气潜水和饱和潜水中的气体计算与配制问题作了详尽的介绍,附录中还附有较多的图表,以方便读者查阅和使用。

本书是一本专业性和实用性较强的技术读物,适合潜水技术、深潜救生、救捞工程等专业在潜水教学和培训时作为教材或参考书使用,也可供从事援潜救生、沉船打捞、水下侦察、水下勘探与施工、水产养殖、海洋考察、旅游潜水等工作的专业技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

潜水气体/李晓虹编著. —北京:海洋出版社,2007.9

ISBN 978-7-5027-6898-0

I. 潜… II. 李… III. 潜水-气体-研究 IV. P754.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 147356 号

责任编辑:杨传霞

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编:100081

北京华正印刷有限公司印刷 新华书店发行所经销

2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月北京第 1 次印刷

开本:787 mm × 1092 mm 1/16 印张:20.125

字数:516 千字 定价:58.00 元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

前言

潜水气体是潜水技术的一个重要组成部分,主要研究和解决潜水作业过程中所涉及的有关气体的选择与配制问题,核心是混合气体的配制与分析技术,是决定潜水作业成败乃至潜水员生命安危的关键环节。

关于潜水气体的分析与配制,国内外都出版过一些相关的书籍,但就市面的资料来看,主要是手册类,缺乏比较完整和系统的关于潜水气体的书籍。然而随着援潜救生、沉船打捞、水下侦察、水下勘探与施工、海洋考察、旅游潜水等活动的广泛开展,特别是近海石油和天然气的开发,潜水作业已成为经济建设、国防建设、科学研究中不可缺少的一个技术门类,迫切需要一本全面、系统的关于潜水气体的书。针对这种情况,笔者根据几年来从事潜水气体教学和研究实践的积累,查阅了大量手册、报告和文献,编纂了这本《潜水气体》,供潜水技术、深潜救生、救捞工程等专业使用,亦可供相关专业人员在潜水培训和作业时参考使用。

全书共七章,其中前三章为潜水气体基础,主要述及潜水气体的基础知识和有关分析方法,旨在弥补常见潜水气体手册中较少涉及这一部分内容的不足,为学习潜水气体的应用打下坚实的基础;后四章则为潜水气体应用,涉及空气潜水、混合气潜水和饱和潜水中的气体计算与配制等问题,是本书的重点和落脚点。本书在内容的编排上,充分注意到了潜水技术发展由低级到高级的递进过程,有关潜水气体的各种概念和计算方法由易到难,分散在各章节中,并力求使其既具有全面性、系统性,又具有相对独立性和实用性,以便于在实际工作中参考使用。附录中附有较多的图表,以方便读者查阅和使用。

潜水的分类比较复杂。根据目的和任务的不同,可分为军事潜水、运动潜水、工程潜水和科研潜水等;根据呼吸气体种类的不同,可分为氧气潜水、空气潜水和混合气潜水;而根据机体对呼吸气体的吸收情况,又可分为常规潜水(或称非饱和潜水)和饱和潜水等。目前,比较通行的方法是分为空气潜水、混合气潜水和饱和潜水,这种划分方法实际上不纯粹属于上述分类方法中的任何一种,而显然是潜水技术发展历程的一个缩影。应当指出,这种分类方法逻辑上并不十分清晰,例如,空气潜水和混合气潜水指明的是何种呼吸介质,而饱和潜水既可用空气又可用人工配制的混合气体,此名称指明的不是呼吸介质的种类,而是机体组织吸收呼吸介质的情况(饱和或不饱和)。本书仍沿用现行的通用分类方法,主要是考虑到与其他资料的可比性。

本书在编写过程中得到了海军潜艇学院有关领导和同志的大力支持,笔者在上海进修期间曾承蒙第二军医大学俞海泉教授、海军医学研究所都兴树教授的精心指导,在此一并表示衷心的感谢。由于潜水气体的技术名词还不统一,规范与方法尚待完善,加之笔者对潜水技术及相关学科的理论把握和实践经验的积累都还不够,故书中难免存在不足、纰漏乃至错误,恳望读者不吝指教。

李晓虹

2007 年春于青岛海军潜艇学院

目 录

第1章 气体的物理知识	(1)
1.1 压强	(1)
1.1.1 压强的概念	(1)
1.1.2 大气压	(1)
1.1.3 静水压	(2)
1.1.4 绝对压	(3)
1.1.5 附加压	(3)
1.2 气体定律	(4)
1.2.1 理想气体状态方程	(4)
1.2.2 道尔顿(Dalton)分压定律	(10)
1.2.3 亨利定律和格雷汉(Graham)定律	(13)
1.3 气体的性质参数	(14)
1.3.1 密度	(14)
1.3.2 比热	(15)
1.3.3 导热系数	(16)
第2章 潜水中涉及的气体及其对人体的影响	(18)
2.1 潜水中涉及的气体	(18)
2.1.1 生命必需气体	(18)
2.1.2 稀释气体	(23)
2.1.3 有害气体	(26)
2.1.4 水蒸气	(30)
2.2 潜水呼吸问题	(34)
2.2.1 呼吸过程	(34)
2.2.2 潜水呼吸中的问题	(36)
2.2.3 压力对潜水员机体的影响	(44)
第3章 潜水气体分析	(49)
3.1 单组分气源气体的分析	(50)
3.1.1 氧气的分析测定	(50)
3.1.2 氮气的分析测定	(68)
3.1.3 氩气的分析测定	(76)
3.2 呼吸介质的分析	(82)
3.2.1 压缩空气的分析测定	(82)
3.2.2 混合气体的分析测定	(85)

3.3 舱室气体的分析	(85)
3.3.1 舱室环境气体的分析测定	(86)
第4章 空气潜水相关计算	(105)
4.1 概述	(105)
4.2 空气潜水中的供气	(106)
4.2.1 压缩空气的组成和纯度	(106)
4.2.2 压缩空气的制造	(108)
4.2.3 储气量	(110)
4.2.4 供气量	(111)
4.2.5 水下可用压力	(112)
4.2.6 水下可用气量	(113)
4.3 自携式空气潜水相关计算	(113)
4.3.1 装具	(113)
4.3.2 耗气率	(114)
4.3.3 供气时间	(117)
4.3.4 潜水用气量	(119)
4.4 管供式空气潜水相关计算	(119)
4.4.1 装具	(119)
4.4.2 供气流量率	(119)
4.4.3 供气时间	(121)
4.4.4 供气压力	(122)
4.4.5 潜水用气量	(123)
4.5 空气常规潜水所需气体量的估算	(123)
4.5.1 潜水作业过程所需空气量	(123)
4.5.2 水面减压所需空气量	(127)
4.5.3 水面吸氧减压所需氧气量	(127)
4.5.4 保持贮气容器一定供气剩余压强所需气量	(127)
4.5.5 气体总贮备量	(128)
第5章 混合气潜水相关计算及混合气体配制	(129)
5.1 概述	(129)
5.2 混合气潜水装具	(130)
5.2.1 自携式潜水装具	(130)
5.2.2 水面供气式潜水装具	(134)
5.3 混合气体配制的基本方法	(135)
5.3.1 称重配气法	(135)
5.3.2 容积配气法	(136)
5.3.3 连续流量配气法	(137)
5.3.4 分压配气法	(138)

5.3.5 自动配气法	(140)
5.3.6 渗透膜气体分离法	(141)
5.4 混合气体配制的计算原理	(141)
5.4.1 配气原则	(141)
5.4.2 潜水用混合气体计算和配制的全过程	(142)
5.4.3 氧浓度和氮浓度的确定	(142)
5.4.4 混合气体配制计算的一般步骤	(143)
5.5 气瓶配气的计算方法	(144)
5.5.1 配制两组分混合气体的计算	(145)
5.5.2 配制三组分混合气体的计算	(151)
5.5.3 有剩余混合气体时的计算	(155)
5.5.4 混合气体校正计算	(157)
5.5.5 混合气体配制计算的新公式	(164)
5.5.6 配气计算表的使用	(168)
5.5.7 气体校正计算表的使用	(173)
5.6 气瓶配气的操作方法	(176)
5.6.1 气压移注法	(176)
5.6.2 连续配气法	(183)
5.6.3 膜式压缩机法	(184)
5.6.4 紧急情况下的配气	(185)
5.7 混合气常规潜水所需气体量的估算	(186)
5.7.1 使用引射再生式氮氧潜水装具进行潜水作业所需气体量	(186)
5.7.2 使用水面供气需供式氮氧潜水装具进行潜水作业所需气体量	(192)
第6章 饱和潜水相关计算	(195)
6.1 概述	(195)
6.2 饱和潜水用呼吸气体	(197)
6.2.1 呼吸气体的选择原则	(197)
6.2.2 呼吸气体的种类	(198)
6.3 生活保障问题	(200)
6.3.1 氧气、氮气和二氧化碳气体分压	(200)
6.3.2 总烃和一氧化碳	(202)
6.3.3 温度和湿度	(203)
6.4 饱和潜水中与潜水气体有关的装置	(204)
6.4.1 高压舱室系统	(204)
6.4.2 生命支持系统	(205)
6.5 饱和潜水舱室配气的计算和操作	(206)
6.5.1 饱和潜水舱室配气计算的一般步骤	(208)
6.5.2 “舱室配气法”	(209)

6.5.3 “居住主舱室配气法”	(213)
6.6 饱和潜水所需气体量的估算	(216)
6.6.1 空气饱和潜水所需气体量的估算	(216)
6.6.2 氮氧饱和潜水所需气体量的估算	(218)
6.6.3 氮氧饱和潜水所需气体量的估算	(220)
6.6.4 传统方法对饱和潜水所需气体量的估算	(229)
6.7 饱和潜水中其他相关计算	(240)
6.7.1 舱内减压排气流量的估算	(240)
6.7.2 呼吸气体消耗量的估算	(240)
第7章 与潜水气体有关的设备	(242)
7.1 气瓶	(242)
7.1.1 技术术语	(242)
7.1.2 气瓶的构造	(242)
7.1.3 气瓶的标记	(243)
7.1.4 气瓶的作用	(245)
7.1.5 气瓶的选择	(245)
7.1.6 气瓶的使用	(246)
7.2 压力表	(248)
7.2.1 结构原理	(249)
7.2.2 测量误差和精度等级	(249)
7.2.3 压力表的量程	(250)
7.2.4 压力表的选用	(251)
7.2.5 压力表的安装	(251)
7.2.6 压力表的检验	(251)
7.2.7 压力表的使用和维护	(252)
7.3 管子、阀门、减压器和装配附件	(252)
7.3.1 管子	(252)
7.3.2 阀门	(254)
7.3.3 管件	(257)
7.3.4 减压器	(258)
7.4 气体压缩装置	(259)
7.4.1 空气压缩机	(259)
7.4.2 氧气充填泵	(262)
7.4.3 膜式压缩机	(265)
7.5 空气过滤装置	(267)
7.5.1 结构原理	(268)
7.5.2 使用和维护	(269)
7.5.3 注意事项	(269)

附录一 度量衡换算表	(270)
附录二 氮 - 氧混合气体配制、使用记录表	(272)
附录三 气瓶标签——检验合格证	(273)
附录四 配制(5.0% - 20.0%) 氮 - 氧混合气体:纯氮加氧检索表	(274)
附录五 气体中水分露点 - 体积分数及露点 - 绝对湿度换算表	(298)
附录六 铜氨比色法测定微量氧气时系列标准色阶配制表	(308)
参考文献	(309)

第 1 章 气体的物理知识

在潜水过程中,压力及其变化是引发潜水员生理或病理改变的最主要因素,是深潜水的主要障碍;而气体及其性质与机体正常的生理机能及活动密切相关。为了安全而有效地使用各种气体,保障潜水员的水下呼吸,有必要首先对潜水中有关气体的基本物理知识作一简介。

1.1 压强

1.1.1 压强的概念

作用于单位面积上的力,称为压强。

$$P = \frac{F}{S} \quad (1-1)$$

式中: P ——压强, N/m^2 ;

F ——力, N ;

S ——面积, m^2 。

在国际单位制(SI制)中,压强的基本单位是 N/m^2 ,单位名称是帕斯卡(pascal),符号为Pa。但是,此压强相当小。实际计算中,常用到下面的单位和换算关系:

1 帕(Pa) = 1 牛顿/米²(N/m^2)

1 大气压(atm) = 760 毫米汞柱(mmHg)

≈ 1 公斤力/厘米²(kgf/cm^2)

≈ 10.3 米淡水柱(mH_2O , fresh)

≈ 10.0 米海水柱(mH_2O , sea)

$= 1\,013.25$ 百帕(hPa)

≈ 100 千帕(kPa)

≈ 0.1 兆帕(MPa)

1 毫米汞柱(mmHg) = 133.322 4 帕(Pa)

1 公斤力/厘米²(kgf/cm^2) = $9.806\,65 \times 10^4$ 帕(Pa)

1.1.2 大气压

和所有物体一样,地球外部的大气占有空间并具有重量,因而,其对物体施加压力。在单位面积上大气的重量即称为大气压。

大气压是普遍存在的,从各个方向作用于所有物体。由于它向各个方向的作用力都相等,因此,这些作用力通常相互抵消,致使地球表面上的所有物体都处于压力平衡之中。例如,人体内的压力与外界压力是平衡的。

海平面在大气层的底部。在海平面上,大气压力被认为基本是恒定的。虽然随着地面

和空气的局部不均匀加热,大气压力会发生变化,但这种变化的幅度不大,在潜水作业的应用上可略而不计。

通常所说的一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。大气压力随着向高空上升而减小,在任何高度上的压力等于位于其上的空气柱的重量。在 1 000 m 高度以下,每升高 10.5 m,大气压力降低 133 Pa;再向上,由于空气逐渐稀薄,大气压力降低较慢。在山地(海拔几千米的高山湖泊)潜水,这个数值对安全具有实际意义,需要予以考虑。

1.1.3 静水压

水的压强是由水本身的重量直接产生的,而且是累积的,上面的水压迫下面的水,一直压到水底。这种由水柱重量产生的压强称为静水压。

静水压作用在浸没于水中的所有物体或结构上。与大气压一样,在任一深度,静水压向各个方向的作用力相等。

水面以下不同深度静水压的求计算公式可推导如下:

重量(F)为物质的质量(m)乘以重力加速度(g),即

$$F = m \cdot g$$

质量为物质的密度(ρ)乘以体积(V),即

$$m = \rho \cdot V$$

而体积又等于水面以下水柱的高度(h)乘以受力的面积(S),即

$$V = h \cdot S$$

所以,静水压可用公式表示为:

$$P = \frac{F}{S} = \frac{\rho \cdot h \cdot g \cdot S}{S} = \rho \cdot h \cdot g \quad (1-2)$$

式中: P ——压力,Pa;

ρ ——水的密度,kg/m³;

h ——水深,m;

g ——重力加速度,其数值为 9.8 m/s²。

上式表明,水面以下的静水压与水深和水的密度成正比;而在同一水深的各个方向上,其压强大小都相等。

由于潜水员是在淡水或海水中进行潜水活动的,所以我们特别关注淡水或海水的静水压。

根据以上公式 $P = \rho \cdot h \cdot g$,对于相同压强的汞柱和水柱,由于水银(汞)的密度是淡水密度的 13.6 倍,所以,水柱的高度是水银柱高度的 13.6 倍。而一个大气压等于 760 mmHg,因此,相当于一个大气压的淡水柱高度为:

$$760 \text{ mm} \times 13.6 = 10\,336 \text{ mm} = 10.336 \text{ m}$$

通常取 10.3 m 淡水柱高的重量作为一个大气压。

由于海水的密度是淡水密度的 1.03 倍,所以,相当于一个大气压的海水水柱高度为:

$$10.3 \div 1.03 = 10.0 (\text{m})$$

通常取 10.0 m 海水柱高的重量作为一个大气压。

对潜水员来说,静水压是非常重要的。在海水中,每下潜 10 m,静水压增加 0.1 MPa;在淡水中,每下潜 10.3 m,静水压增加 0.1 MPa。压力随深度变化十分规则。

例如,潜水员站在水下,若其身高为 1.7 m,则其脚上承受的静水压力要比头部大 0.017 MPa(见图 1-1)。

1.1.4 绝对压

绝对压是单位面积上实际承受的总的压强。

在水中,形成压强的因素有两个:(1)水本身的静水压;(2)水面上大气的重量。

人在水下时,实际承受的压力应是所处深度的水柱重量与水面上大气重量之和。这两部分压强加在一起即为绝对压。

在海水中,以大气压为单位表示的绝对压可通过下式计算:

$$P = \frac{D}{100} + 0.1 \quad (1-3)$$

式中: P ——绝对压,MPa;

D ——水深,m。

例如,在海中,潜水员潜至水下 30 m 深处,他所受到的绝对压是:空气中的 0.1 MPa 加上静水压 0.3 MPa,共 0.4 MPa。依此类推,潜至 60 m,绝对压为 0.7 MPa。

1.1.5 附加压

附加压是指单位面积上所承受的、除去大气压之外的那部分压强。附加压和绝对压之间的关系为:

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

通常,工业和医学上用来测量压力的仪器,如压力表、检压计、血压计等,指示的数值都是附加压数值;附加压因此也称为表压。

压力表都以大气压强为基值。当被测压强的绝对压数值为 0.1 MPa 时,压力表上的指针将指在零位。即在海平面,当压力表与大气相通时,指示数值为“0”。因此,把表压换算成绝对压时,若压力表的刻度以 MPa 为单位,则加上 0.1。

在潜水实践中,从压力表读出的压力值总是附加压,实际上就等于静水压,相当于水的深度,故压力值与水的深度值常混用,此点应予以注意。

表压等于静水压,不包括大气压,可用下式计算:

$$P_g = \frac{D}{100} \quad (1-4)$$

式中: P_g ——静水压,MPa;

D ——水深,m。

加压舱在未加压前,已经存在了一个正常大气压,称为常压状态;当人进入加压舱后,通过加压,每增加 0.1 MPa,就相当于增加了 10 m 水压的压力,故在加压舱内加压称为模拟潜水。这种舱内单位面积上实际承受的总气压为绝对压,相当于常压与水深的总和。

需要注意的是,在考虑水下气体的生理作用时,均按绝对压力值进行讨论。

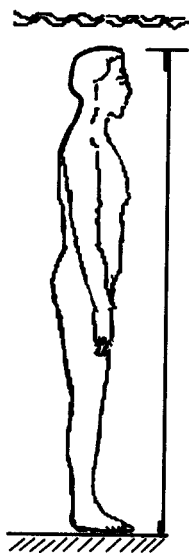


图 1-1 潜水员站在水下身体各部承受的静水压力不同

1.2 气体定律

通常,一定量的气体用压力、体积、温度 3 个变量来描述其物理状态。而这 3 个变量之间的关系可用气体定律来解释。

气体定律对潜水实践非常重要。在这些气体定律中,与潜水员关系密切的六个气体定律分别是:理想气体状态方程、波义耳定律、查理定律、盖-吕萨克定律、亨利定律和道尔顿分压定律。

在空气潜水中,由于空气是一种组成相对固定的呼吸气体,所以呼吸空气作业的潜水员较少需要使用各种气体定律进行大量计算。但是,在混合气潜水中,这类计算对于安全潜水却至关重要。因此,混合气潜水员必须更透彻地掌握气体定律的应用知识。

1.2.1 理想气体状态方程

在低压(小于 1 MPa)和较高温度(高于 0℃)下,气体的 P, V, T 之间的关系可以用下列方程式表示:

$$PV = nRT \quad (1-5)$$

式中: P ——气体的压强,Pa;

V ——气体的体积, m^3 ;

n ——气体的物质的量,mol;

R ——气体常数;

T ——气体的热力学温度(绝对温度)。

所有气体的 R 值均相同,但 R 的数值与压强和体积的单位有关,计算时要注意。其关系见表 1-1。

表 1-1 不同压强和体积单位时的气体常数 R 值

参 数	单位和气体常数(R)数值	
压 强	Pa	atm
体 积	m^3	L
R	8.314	0.082 1

温度是定义物体“热和冷的程度”的物理量。物体的温度是由物体分子的平均动能或运动速度引起的。温度由温度计测定,用摄氏度(℃)或华氏度(°F)表示。日常生活中最常用的是摄氏度。

使用气体定律时,必须将温度的数值换算为绝对温度。开氏温标和兰金氏温标均为绝对温标。在科学领域,开氏温标最有用。

绝对零度是一个假定的温度,表示完全没有热量,大约相当于 -273°C 或 -460°F 。

摄氏温度与开氏温度、华氏温度与兰金氏温度的换算关系为:

开氏温度(K) = $^{\circ}\text{C} + 273.15$; 兰金氏温度(R) = $^{\circ}\text{F} + 459.67$

摄氏温度与华氏温度之间的关系为:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{1.8}$$

严格遵守式(1-5)的气体称为理想气体,式(1-5)称为理想气体状态方程。

理想气体状态方程还有另一种表示形式:

设气体在最初状态时,其压强、体积、温度分别为 P_1, V_1, T_1 , 经过一系列变化后,这3个量变成 P_2, V_2, T_2 , 达到最终状态。对于一定质量的气体,其 nR 值保持不变,故可得到:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (1-6)$$

式中: P_1 ——初始压强,绝对压;

V_1 ——初始体积;

T_1 ——初始温度,绝对温度;

P_2 ——终了压强,绝对压;

V_2 ——终了体积;

T_2 ——终了温度,绝对温度。

从微观结构上看,理想气体的分子有质量而无大小,分子之间没有相互作用力,这种情况实际上是不存在的。相反,任何真实气体分子间都存在相互作用力、分子本身有体积。

只有在低压(小于1 MPa)和较高温度(高于0℃)的条件下,真实气体才更接近于理想气体。因此,将理想气体状态方程应用于任何实际气体都是近似处理。

真实气体不完全服从理想气体状态方程,若要使用理想气体状态方程计算真实气体则需要引入矫正因子 Z 。真实气体的状态方程可写为:

$$PV = ZnRT \quad (1-7)$$

Z 称为压缩因子。任何一种气体的压缩因子 Z 都各不相同,通常根据实验确定。 Z 不仅是温度和压强的函数,也是气体浓度的函数。配气过程中, Z 的大小连续变化。当压强增至20.4 MPa时,氮氧混合气体的压缩因子 Z 可在0.962到1.10范围内变化,氮氮氧混合气体的压缩因子 Z 可在0.962到1.16范围内变化,这意味着计算压强时,对于氮氧混合气体可存在10%的最大误差,对于氮氮氧混合气体可存在16%的最大误差。

研究表明,应用理想气体状态方程时,实际气体与理想气体计算结果之间的偏差一般不会超过5%,但计算过程却简单多了。所以,实践中混合气体配制的计算、操作直接按理想气体定律进行。

例1-1 将容积为1.2 m³的开放式潜水钟放入水下30 m深处,其温度由水面的25℃降至5℃,求在该深度时潜水钟内气体的体积。

解:已知 $P_1 = 0.1$ MPa, $V_1 = 1.2$ m³, $T_1 = 25^\circ\text{C} = 298$ K, $P_2 = \frac{30}{100} + 0.1 = 0.4$ (MPa), $T_2 = 5^\circ\text{C} = 278$ K

根据理想气体状态方程,代入公式 $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$

$$V_2 = \frac{P_1 V_1 T_2}{T_1 P_2} = \frac{0.1 \times 1.2 \times 278}{298 \times 0.4} = 0.28 (\text{m}^3)$$

答:在该深度时潜水钟内气体的体积为0.28 m³。

在潜水实践中,大多只涉及2个变量。以下分3种情况分别予以说明。

1.2.1.1 温度恒定条件下的应用:波义耳-马略特(Boyle-Mariotte)定律

当温度不变时,一定质量气体的体积与它的压强(绝对压)成反比(图1-2)。其表达

式为:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (1-8)$$

波义耳-马略特定律还可以这样叙述:当温度不变时,一定质量气体的压强与它的体积的乘积是一个恒量。用公式表示为:

$$PV = C \quad (1-9)$$

式中: P ——绝对压;

V ——体积;

C ——恒量(常数)。

压强增加,体积减小;反之,则体积增大。

例如,压强为 0.1 MPa 时,气体的体积为 8 L;若压强相应地增加到原来的 2、3、4 倍,则体积缩小到原来体积的 $1/2$ 、 $1/3$ 、 $1/4$ 。

波义耳-马略特定律说明了深度改变将引起压强变化,而压强变化又导致气体体积的变化;该定律同时确定了各种呼吸气体气源的压强和体积的关系。

例如,1 m³ 的空气袋,从水下 90 m 上升到水面,膨胀致其体积达到 10 m³;其中,从水下 10 m 上升到水面,体积膨胀达 5 m³。

图 1-2 展示了水下压强和气体体积的关系。

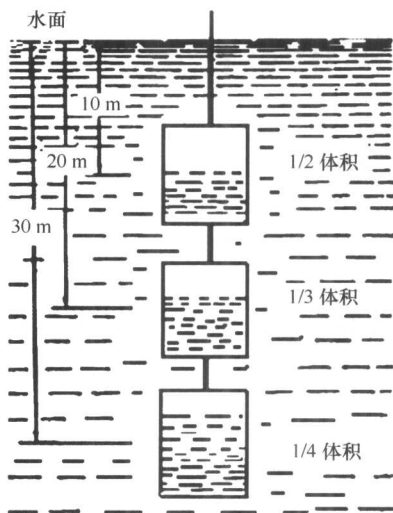


图 1-2 波义耳-马略特定律

从图中可以看出,在最初的 0 ~ 10 m 深度范围内,气体体积变化最大。即使潜水员的上升速率保持不变,在上升、特别是减压过程中,潜水员系统中的任何气体都将以最快的速率膨胀至最大值。

分子运动论可以解释波义耳-马略特定律关于一定质量气体的体积与压强之间的关系。一个容器内,气体分子不断碰撞容器壁的碰撞力的总和表现为气体对容器的气压。气体压强是单位面积上所受气压的大小。体积增大,气体分子与器壁碰撞的机会减少,故压强降低;反之,体积缩小,气体分子与器壁碰撞的机会增多,故压强增加。