

绪 论

现代各种船舶以及用于科学考察的深水装置，是乘员长期工作和停留的场所；有人停留的水面、水下船舶舱室及有人工作的深水装置舱室应有适合人生存的微气候条件。

现代船舶和深水装置中使用各种电器设备和各种精密仪器仪表，它们能否有效和可靠的工作和周围介质参数有关。

在货船上要运送各种各样的货物，其中包括易变质的食品、易锈蚀的金属制品（如各种精密仪器）、易燃易爆物品（如石油产品、天然气等），各种货物对周围介质参数（如介质的温度、湿度、成分）都有一定的要求。否则，将导致食品发生霉变，金属制品和货舱壁面腐蚀，易燃易爆货物起火和爆炸。

船舶空调系统是各种船舶上不可缺少的设备，它可为人居住舱室创造适合人生存的微气候条件；可保证各类货船舱室所要求的空气介质参数。

影响人生命活动和人体状态的重要因素之一是微气候条件。微气候是指人周围气体介质的组成成分、温度、压力、湿度、流速以及周围各种表面辐射作用的综合结果。

人为维持其生命活动需要消耗能量。能量的来源是人体内碳氢化合物的氧化（燃烧），因此，人除需要从外界补充食品外，还需不间断地从周围空气中补充氧。人机体新陈代谢生成的二氧化碳和水，依靠人的呼吸排入周围的空气中。人在生命活动中向周围环境放出的热量、二氧化碳、水及其它新陈代谢产物的多少正比于人的体力或脑力劳动负荷。同时从其它污染源（如各类设备）向环境释放出热量、水分、各种气态污染物、粉尘及其它有害污染物。

近年来，为了深海科学考察和开发深海海底资源，需要进行大量的深海水下作业。随海深的增加，呼吸气体的压力增高。当海深超过一定值时，通常组成的空气已不能作为呼吸气体使用。例如当水深超过 20 米时，人如果吸入纯氧持续 15~20 分钟，会引起氧中毒。在更高的压力下，吸入氮气，氮会被人体吸收，导致氮麻醉，使人失去知觉。因此在深海水下作业时，需要建立专门的舱室和提供专门的呼吸气体。

为了使在舱室及深海水下作业的人员自身感觉良好，必须恒定地维持周围气体介质的组成成分和参数在人体能适应的范围内变化。

和陆地上人居住的场所不同，船舶经常在不同的海域航行，外界气象条件随航行的海域而发生变化，船舶舱室一般比较狭小，而且常拥挤的布置着各种散发余热、余湿、噪音和其它污染物的设备。在风浪中行驶时，船体会产生剧烈的颠簸和震动。

在不同的季节和不同的海域，外界气温在 + 40℃ ~ - 50℃ 范围变化，舷外水温在 + 35℃ ~ - 2℃ 范围变化，外界空气的含湿量可由 24~6g/kg 变化到 0.1~0.5g/kg，在高低纬度不同的海域，太阳的平均辐射强度也在很大的范围内变化。另外，和陆地上建筑物不同，船舶壳体及舱室壁是由具有良好导热性能的金属材料制造的，不具有隔热保温性能，外界气象参数对舱室微气候的影响非常大。

为了在船舶舱室建立使人感到舒适的微气候；建立保证各种精密仪表可靠工作和保证运送的各类货物不发生腐蚀、霉变的介质条件，采用舱室气体介质调节，即对送入舱室的气

体介质进行处理 保证各类舱室的气体介质的组成成分、压力、温度、湿度及流动速度在给定的范围内变化。

气体介质调节（或称空调）分为舒适性空气调节和工艺性空气调节。工艺性空气调节包括制冷和技术性空气调节。

舒适性空调是指对送入舱室的气体介质进行处理，使舱室气体介质的基本参数（组成成分、压力、温度、湿度、流动速度等）维持在生命体（指人）感到舒适的范围内，不管船舶航行的海域和外界气象参数如何变化。性能良好的舒适性空调应使生活在舱室的人有自然舒适感，不会感到是在人为创造的环境中生活。

工艺空调是指对货舱及其它无人长期停留舱室气体介质的调节。工艺空调要达到的目的是，不管船舶航行的海域及外界气象参数，在现有的技术条件下，保证海产品加工船舱有最好的加工工艺过程；满足各种精密仪器、仪表可靠工作要求的环境；保证货船运送货物的质量，不发生腐蚀或霉变；防止各类货舱壁面严重腐蚀；预防运油船和运送可燃气体船发生起火、爆炸等危险。

用于保鲜鱼类、海产品及蔬菜、水果的工艺空调，是采用预先冷却和调节舱室气体介质中二氧化碳浓度的方法；在干货船上的工艺空调主要是控制舱室气体的湿度，避免运送的货物（面粉、谷物、棉花、烟草等）吸湿而发生霉变；防止运送的金属设备、仪器及船体发生腐蚀；在运油船和运送可燃气体船上的工艺空调，包括对气体除湿和降低气体介质中氧的浓度，获得惰性气体介质，从而最大限度地防止船体腐蚀和避免在油气泄露时发生起火和爆炸等恶性事故。

在动力设备和其它设备停止运行时，为防止设备的锈蚀，保证舱室空气干燥的空气处理也属于工艺空调。

本书详细地讨论了船用舒适空调原理、设计和计算，对船用舒适空调设备也做了详细的介绍。对工艺空调只做了一般的介绍。

当考虑外界所有影响因素时，有人居住和人长期停留舱室的完全舒适空调应令下列诸因素使人感到舒适：

1. 呼吸气体的组成成分；
2. 呼吸气体的压力；
3. 呼吸气体的温度；
4. 呼吸气体的相对湿度；
5. 呼吸气体的流动速度；
6. 周围物体的辐射作用；
7. 噪音水平；
8. 呼吸气体的气味；
9. 呼吸气体中离子种类及浓度；
10. 呼吸气体的臭氧化作用；
11. 呼吸气体的灭菌、消毒状况；
12. 环境的音响效果；
13. 环境的景观效果；
14. 电场、磁场作用。

通常的舒适空调只考虑呼吸气体的组成成分、温度、压力、气体的流动速度及周围物体对人体的热辐射作用和噪音大小，这样的空调称为基本参数舒适空调。这时假定其它各种外部影响因素或者不存在，或者对人机体不产生有害的作用。

相应舒适条件下的呼吸气体灭菌、消毒程度及电、磁场参数 目前还没有进行专门研究。但经验证明 对呼吸气体完全彻底地进行灭菌、消毒及完全没有电、磁场作用 将对人机体产生有害的影响。

虽然使人惬意的优美景观无法在空调舱室仿造和再现 但对舱室进行合理的装修 可以在一定程度弥补景观效应的不足。

现在船舶空调已日臻完善 它除可保证基本参数舒适外 还可保证舱室空气有清新气息 (消除人生命活动和其它污染源散发的另人感到不愉快的气味)控制和产生对人有利的离子、臭氧成分 适当的对呼吸气体灭菌、消毒 建立音响和景观效应。例如 为建立舒适条件，现代船舶的休息区均考虑了上述诸因素。为此 在空气或呼吸气体的处理过程中 采用物理-化学综合处理方法。例如 利用恢复氧、有利离子的浓度的方法使呼吸气体再生 在壁式屏幕上周期地 按程序控制 更换放映优美的风景图片 并伴有潺潺的流水声和鸟语、花香。

在国外，19世纪末船舶空调已开始应用。在我国，随造船工业的迅速发展和技术的进步 近年来 船舶空调技术也得到广泛的应用。船舶空调技术的发展 不仅要在能源利用、能量的节约和回收、改进空调设备的性能、提高系统的综合能量利用效果等方面继续研究和开发，而且要在更广泛的范围内，研究创造有利于人体健康和适合人工作和生活的条件。

第 1 章 船用空调系统的特点和分类

1.1 处理空气和气体混合物的方法

绪论中曾提到 为了保证船舶舱室内气体的成分和参数 需利用空调系统对舱室的气体 (空气、呼吸气体、惰性气体) 进行调节。

空调系统 (装置) 包括对气体进行机械处理、热湿处理、物理 - 化学处理及其他处理的各种设备和通风、配风设备。

舱室内气体的成分 对于和外界大气不采取密封措施的舱室 由通风系统保证 对于密封的舱室 (水下舰艇、装置、设备) 由气体再生系统保证。

舱室通风 是指用干净的外部气体 例如大气中的空气 更换舱室内的气体。通风可把舱室内人员或其他设备散发出来的有害气体浓度控制在允许的范围内。通过送入外部空气和排除舱内气体还可以排除舱室的余热和余湿。

气体再生 这是一个综合的物理 - 化学过程。该过程可以恢复气体的物理 - 化学组成。再生包括净化气体中人们生命活动释放的产物和其他有害分离物及维持气体中必需的氧气的浓度。

净化 是指去除气体中的粉尘和其他杂质。实现气体净化的方法通常有两种：使用气体过滤器净化 利用对气体进行热湿处理的接触装置 使气体和水 或盐的水溶液 相互接触实现气体净化。

视舱室的用途、舱室内安装设备的多少、季节和航行的海域 舱室内可能有余热、余湿或有热损失、湿损失或有余湿、热损失。为了维持舱内气体必需的舒适参数，送入舱内的气体需预先在空调系统的各个专门设备中进行热湿处理。空气可能被加热、冷却、加湿、干燥。处理过的气体通常是湿气体，即干气体和水蒸气 (有时是微小的液滴或结晶的冰滴 - 水雾和冰雾) 的混合气体。

加热 是指向空气 或气体 转入热量。加热时气体的焓 h 增加。

冷却 是指从空气 或气体 中导出热量 冷却时气体的焓 h 减少。

如果气体含湿量不变 加热气体 气体温度升高 冷却气体 气体温度降低。在空气调节中常采用蒸发冷却气体的过程 (气体的焓 $h = \text{const}$) 过程中气体被加湿 同时温度降低。对气体加热和冷却除借助表面式热交换器或使气体同液体 (水) 直接接触的方法外 还可以通过热力过程——在空调装置的压气机和透平中压缩和膨胀来实现。

除湿 (干燥) 是指使湿空气的含湿量 d 减少。对空气可采用的方法有：使气体通过温度低于其露点温度的固体表面或液体 (水) 或使气体绝热 多变 膨胀 或用固体吸附剂或液体吸收剂 (盐的水溶液) 吸收气体中的水蒸气。

加湿 是指使湿空气的含湿量增加。加湿气体采用的方法是向气体通入少量的水蒸气 或雾化的微小水滴 或使气体同大量的水接触。根据采用的加湿方法 对气体进行相应的冷

却或加热。

空调系统还要对气体进行其他的处理 如加味、除臭、电离、去电离、灭菌等。

加味 是指增加某种芳香物质在气体中的浓度 使被处理的气体有令人惬意的气味 清新的干草味、花香味、松林中的清新气味等) 气体的加味过程和气体的加湿过程类似 但加入的不是水蒸气而是乙硫醚 芳香液体或固体 蒸气。

除臭 加味的反过程 是指排除气体中令人不愉快的气味 厨房的气味、卫生间的气味等)

气体离子化 是指向气体引入或在气体内形成一些带电粒子 (正离子和负离子)。

去电离 是离子化的反过程。

灭菌 是指清除气体中的微生物。

从上述可看出 为了实现舒适空调 必须对气体 呼吸气体 进行综合处理。气体处理过程是综合机械处理、物理—化学处理的复杂过程。对气体综合处理后 不管航行海域气象条件如何变化、舱内散发多少热湿和其他有害分离物 都可以保证封闭舱室内的气体参数、成分满足舒适空调的要求。

水下舰艇在水下行驶时的空气处理过程是呼吸气体综合处理的一个特例，舱室空气的参数由舒适热湿空调设备保证，空气的成分由空气净化设备，氧氮及其他气体的发生系统、供给系统保证。

如果综合处理空气过程能使所有影响人们生理和情绪的外部因素，其中包括空气的气味、周围的景色、音响效果等都使人感到舒服 这样的空调被认为是完全舒适空调。

空调系统大体上可按用途、特点、气体处理是否完全、系统的压力等进行分类。

1.2 船舶空调系统的工艺流程

在任何季节 船舶有人居住的舱室都有余湿 部分舱室有余热。余热主要是由于外界向舱室传热引起的 在冬季 大多数舱室有热损失 但一些热设备多的舱室有余热。

随外界空气参数的变化，舱室的余热或热损失也相应地发生变化。全年空调系统应保证夏季能够导出舱室的余热和余湿 冬季能够导出舱室的余湿 并导入一部分热量补充舱室的热损失。因此在舱室内进行着空气的热湿同化过程，

和热湿同化过程相反 在空调器内是把要送入舱室的空气进行热湿处理和净化 使其具有确定的参数和成分。在夏季 送入舱室的空气在空调器内冷却和除湿 而冬季 空气在空调器内预热和加湿 (虽然冬季外部空气的相对湿度可达到 80% ~ 90% 但含湿量不大，一般不超过 $1 \sim 3 \text{g/kg}_{\text{干空气}}$)。

当空调仅用于满足卫生和舒适的需要时，通常称之为舒适性空调。舒适性空调对温度、湿度等气象条件的要求并不十分精确，允许有较大的波动范围，但在工艺生产的某些场合，由于工艺或设备的特定需要，对空气温度、湿度和清新程度的要求则要严格得多。

图 1.1 示出不封闭舱室的直流空调系统的原理工艺流程图。(舱室没有采取专门的密封措施 但在空调器工作时 为维持舱内确定的空气参数 舷窗和舱门应关闭。)

电动风机 4 吸入经过滤器 2、14 的空气，然后空气经空调系统进入舱室 11。

直流空调系统 经空调器处理的空气全部是外部空气，称为直流空调系统。

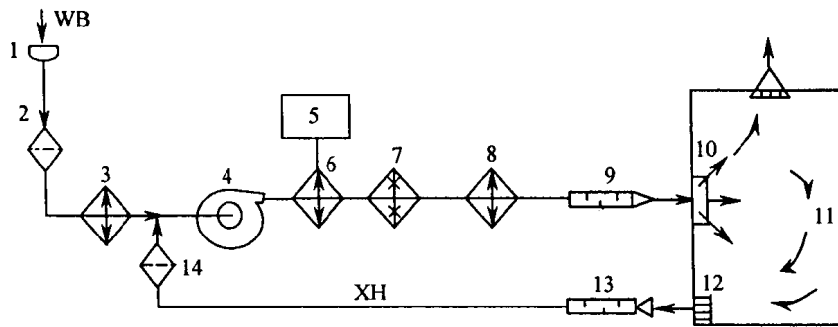


图 1.1 直流-回风舒适空调系统原理工艺流程图

WB-外部空气(流量 G_{WB});XH-回风(G_{XH});1-外部空气入口;2和14-过滤器;
3和8-第一和第二级空气加热器;4-电动风机;5-制冷机;6-空气冷却器;7-加湿器;
9,13-消声器;10-空气分配器;11-舱室;12-百叶窗

封闭式空调系统 系统全部使用封闭舱室的空气进行循环。循环空气在空调器内进行热湿处理、消除 CO_2 和其他有害气体的物理化学处理并补充必需 O_2 使其达到一定的浓度。

直流回风系统 系统使用的空气部分是外部空气，部分是预先热湿处理和净化处理的舱室回风。

采用回风的目的是为了降低空调系统的冷、热负荷。因为冬季舱室空气温度比外部空气温度高，而夏季舱室空气温度比外部空气温度低。

为避免冬季回风热空气和外部冷空气混合时出现结露和结冰，外部冷空气应预先在第一级加热器 3 内预热。

冬季工况 空气在加湿器 7 中加湿(利用蒸汽或水)并经第二级加热器 8 加热到必需的温度经空气分配器 10 送入舱室。

夏季工况 3、8 及 7 不工作，外部空气和回风混合后在空气冷却器 6 内冷却(必须调节空气的干度即减少其含湿量)然后送入舱室。

进入舱室的空气 G_K 中只有一部分 G_{HX} 是回风 进入舱室的总量和回风的差 $G_K - G_{HX} \approx G_{WB}$ 由专门的排风装置从舱室中排除。

为防止气动噪声传入空调舱室，在空气输送管路上安装消声器 9、13 后者是为了防止风机噪声从风机吸入管传入舱室)。为了防止气动噪声传入空调舱，还采取一些其他措施(隔音舱壁等)

为了保证舱室内空气成分 O_2 、 CO_2 的浓度 需供给足够量的新鲜空气和从排风系统排除一定量的污秽空气。

大多数水面舰船采用图 1.1 示出的空调系统。

如果船舶经常航行或停泊在有大气污染的环境中(例如装卸或转运某些种类能挥发出有害气体的液体燃料)必须装备能保证全封闭舱室具有舒适条件的空调系统。图 1.2 是这种空调系统的工艺流程图。

如果船舶航行区域没有大气无污染时，空调系统的工艺流程同图 1.1 这时阀门 K_1 开启 阀门 K_2 、 K_3 关闭 风机 4 暂停工作，空调舱室维持在通常的大气压力下。

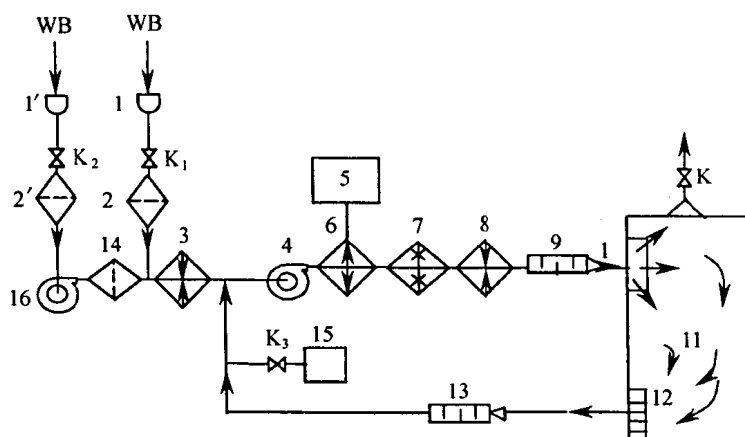


图 1.2 用于水面舰船密封舱室的直流-回风空调系统的原理工艺流程图
WB-外部空气流量 G_{WB} ; 1~13 同图1.1; 14-特殊气体过滤器; 15-储氧器;
16-风机 K-排气阀, K_1, K_2, K_3 -阀门

当外界大气有污染时 舱室密封 阀门 K_1 关闭 阀门 K_2 打开。外界污染大气经过滤器 2' 及风机 16 进入专门的气体过滤器 14 清除有毒有害的气体或蒸汽 通常 14 有很大的空气流动阻力 因此必须补装风机 16)。打开阀门 K_3 使储氧器 15 和系统接通 向系统供给一定量的氧气。

调节氧气的供给量, 使有人工作和生活的舱室氧气的分压力维持在 $0.016 \sim 0.021 \text{MPa}$ 。为了避免外界污染空气通过舱室不严密处漏入舱室, 舱室内气压略高于外界大气压 ($P > P_b$)。

人们新陈代谢产生的 CO_2 及其他气态物质通过阀门 K 从舱室引出排入大气。随排气排除的 N_2 由经净化过滤器 2 和 14 进入的空气中的 N_2 补充。

经净化过滤器 14 后 空气中 O_2 的含量也稍有降低 由储氧器 15 补充所需的氧气。

某轮船公司运氨船的空调系统, 采用喷淋式空气冷却器吸收空气中的 NH_3 。舱室内气压维持在略高于外界大气压。

图 1.3 是水下 (水深大于 70m) 全封闭式舱室呼吸气体再生的舒适空调系统原理流程图。

空调系统由封闭回路组成, 系统内配置有呼吸气体和氮-氧混合气体再生器 4 通过再生器人们生命活动产生的 CO_2 、部分水蒸气和其他气体被吸收并产生 O_2 。

再生剂可采用过氧化钠 Na_2O_2 。1kg Na_2O_2 含有 0.41kg O_2 能吸收 0.5644kg CO_2 。

风机 1' 是用来克服再生回路的空气流动阻力, 风机 1 是用来克服热湿处理及循环回路的阻力。

为了补充氮-氧混合气体漏失损失和维持舱室确定的气压, 系统内备有储氮罐 3。

空调的舒适性同时由下述条件保证: 视觉舒适——在设置的屏幕上放映自然景观 听觉舒适——根据需要播放鸟语、微风声、小溪的潺潺流水声 嗅觉舒适——提供淡雅的花香、森林和草地清香及一定量的电离气体。提供景观、音响和芳香气息的设备应协调工作, 使一个优美的自然景色配以和谐的音响和清新宜人的气息。

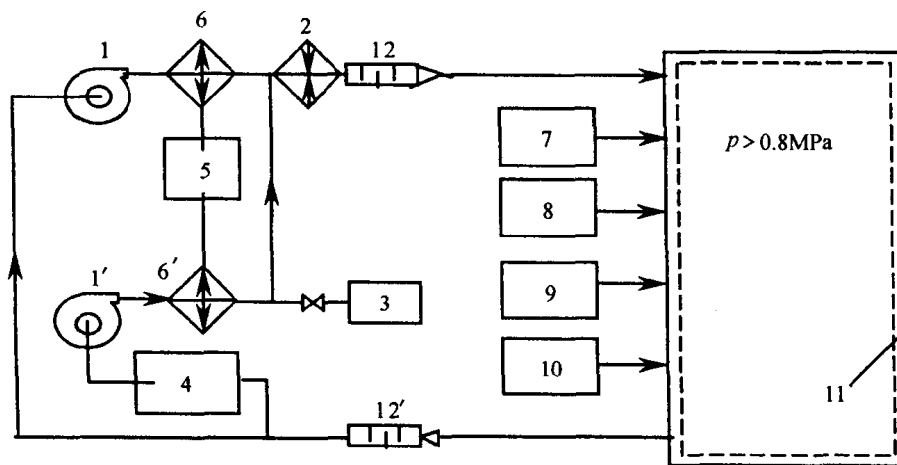


图 1.3 全舒适氮-氧混合气空调系统原理工艺流程图

1、1' - 风机 ;2-氮-氧混合气体加热器;3-储氮器;4-再生器 5-制冷机 ;6、6'-氮-氧混合气体的冷却器 ;7、8、9、10- 分别为建立听觉、视觉、嗅觉舒适和空气离子化设备 ;11- 舱室的隔音设备 ;12、12'- 消声器

1.3 制冷和工艺空调系统的工艺流程

图 1.4 是船用制冷系统的基本流程之一。运输易腐败货物 肉类、鱼、食物油、蔬菜、水果 的货舱应和大气环境及其他舱室隔热和防水。货舱内维持的温度 t_{HC} 和相对湿度 φ_{HC} 取决于货物的种类 例如冻肉 $t_{HC} = -18 \sim -9^{\circ}\text{C}$ 、 $\varphi_{HC} = 70\% \sim 95\%$ 冻鱼 $t_{HC} = -25 \sim -18^{\circ}\text{C}$ 、 $\varphi_{HC} = 70\% \sim 100\%$ 水果 $t_{HC} = 1 \sim 4^{\circ}\text{C}$ 、 $\varphi_{HC} = 70\% \sim 85\%$ 蔬菜 $t_{HC} = 0 \sim 6^{\circ}\text{C}$ 、 $\varphi_{HC} = 70\% \sim 90\%$ 香蕉 $t_{HC} = 12 \sim 13^{\circ}\text{C}$ 、 $\varphi_{HC} = 85\% \sim 90\%$ 。舱内的空气参数由制冷装置的确定规范保证。制冷装置包括制冷机、风机、加湿器、电加热器、空气冷却器、空气冷却器。为了维持较高的湿度，由加湿器

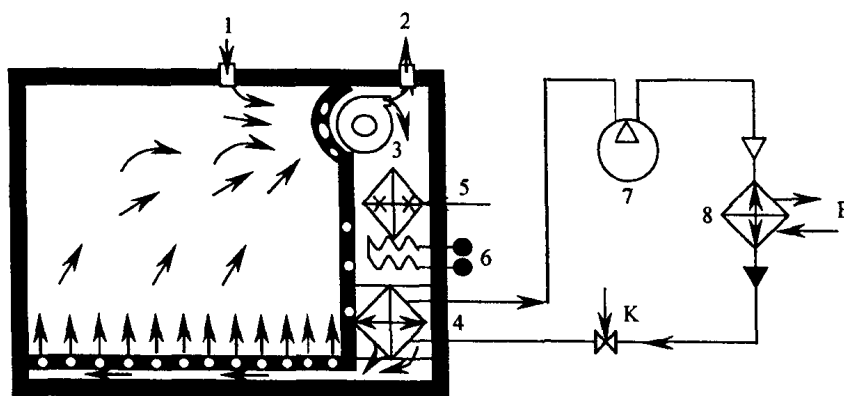


图 1.4 船用制冷系统原理工艺流程图

1-向货舱进新鲜外部空气的管道 2-从货舱向大气排除污秽空气的管道 3- 风机 4-蒸发器 -空气冷却器 ;5-加湿器 ;6-电加热器 7-制冷机压机 8-冷凝器 ;K-节流阀;E- 舱外水

提供水蒸气)电加热器 6(在寒冷的季节运输香蕉、蔬菜、水果时 加热空气及用来周期地对蒸发器的肋片管除霜)及其他辅助装置。

在对货物冷却和维持货舱低温的工作规范时 蒸发器 - 空气冷却器 4 中的制冷剂 通常采用卤代烃 - 氟里昂 蒸气被吸入压气机 在压气机内蒸气被压缩到压力 P_1 进入冷凝器 8, 在冷凝器内被冷凝成液体, 冷凝中放出的热量被舷外水带走。液态制冷剂经节流阀 K 节流 降到比较低的压力 P_0 在低压下进入蒸发器 - 空气冷却器 4, 蒸发吸热, 降低通过蒸发器湿空气的温度 必要时可使湿空气中的水蒸气冷凝除湿)

货舱内部分污秽的空气 含有水果、蔬菜释放的二氧化碳和各种气味 通过管道 2 引出排入大气 干净的外界空气通过管道 1 进入货舱。引出和进入货舱的空气量根据所运载货物需要的条件进行调节。

当货舱需要加热时, 除用电加热器外, 可用制冷机加热。这时制冷机按热泵工况工作。

用来冷却粮食、食品的货舱 采用另一种系统 盐水 NaCl 、 CaCl_2 的水溶液 在制冷机的蒸发器内被冷却后送入货舱空气冷却器 而货舱空气冷却器 取消风机 采用盐水排管、整体密封盐水冷却舱壁或肋片盐水排管。盐水通过空气冷却器 带走热量 冷却货舱的空气。

工艺空调可保证干货舱和石油运输船大储油罐内要求的气体参数 (相对湿度小于 50%), 这有利于货物的保存并可避免货舱和储油罐内壁的腐蚀。

此外, 油槽船上配备有空气排水设备, 当从储油罐清除压舱水后, 用空气立即吹干其内表面和降低内部空气的湿度。

干货船运输的货物基本上可分为两类, 一类是含水、吸湿的货物, 其含水量的多少取决于舱内空气参数和货物本身的性质 (如小麦、面粉、棉花、咖啡、烟草、调味品等) 另一类是不含水、不吸湿的货物 (如金属、金属制品、机器设备、工具等)

因为货物具有很大的热容 当货船由较冷的北方向南行驶时 货物温度上升的很慢 在很长的一段时间内其温度仍低于大气温度 这时舱内热、湿空气中的水蒸气将在温度低的货物表面上凝结; 当货船从热带地区向北行驶时, 货船内的空气将在很长的一段时间仍然是热、湿空气 但舱壁或船壳体的温度将降低 这样空气中的水蒸气将在壁面上凝结。

使货舱内空气饱和的原因是由于货物 未成熟的粮食、稻谷、大豆、蒸发出水蒸气或在雨天、雪天装卸货物。

货物和舱壁的凝结水会损害货物和使舱壁内表面剧烈腐蚀。

在油船大储槽的内表面 进行着剧烈的化学腐蚀和电化学腐蚀过程 使油槽船壳体急剧损耗, 必须花费大量材料进行彻底修补。

避免货物损坏和船体金属部件腐蚀的最有效手段是人为地调节舱内空气的露点。方法是对货舱和大储罐内的空气进行除湿, 使货舱和大储罐内空气和其他气体的露点温度始终低于货物和舱壁金属表面的温度。经验表明, 大储槽内空气介质的相对湿度由 80% 降到 40%~50% 时 由于腐蚀引起的金属损耗减少到原来的 $1/10 \sim 1/12$ 当相对湿度 $\varphi \leq 40\% \sim 50\%$ 时 已不发生腐蚀。

为减少油船大储槽内表面的金属腐蚀 除对空气进行除湿外 还必须降低内部气体氧气的浓度。这对于避免在储罐内形成有爆炸危险的气体也是非常重要的。在装卸油品和清洗储罐时 这种危险特别大。因此近来采用惰性气体干燥系统 该系统保证储罐内空气中氧的浓度小于 4%~5% 空气的相对湿度不大于 50%。

通常采用液体燃料在特制的气体发生器中燃烧产生的烟气、锅炉排烟(直接利用)内燃机排烟或燃气轮机排烟(因排烟中氧的浓度较高,需附加燃尽室)作为干燥系统的惰性气体。

空气或气体干燥装置是货船工艺空调、油船惰性气体干燥系统的主要组成部分。

可采用不同形式的干燥器,其中包括固体吸附物质(二氧化硅凝胶等)、液体吸收剂(氯化锂水溶液等)、透平压气机组(气体在透平冷气发动机内膨胀降温)、制冷机(使气体通过表冷器冷却到露点温度以下)。

图 1.5 是利用透平-压气机组干燥货舱空气系统的原理图。其基本原理是气体膨胀-压缩。货舱的湿空气进入透平(透平冷气机)T,在透平内膨胀,冷却除湿,液滴从空气中凝结出的水蒸气,在分离器 2 中被分离,除湿的空气在压气机 K 内被压缩,通过用舷外水冷却的空气冷却器 1,送入货舱(空气在压气机内温度升高值大于在透平内温度降低值)。根据货舱内需维持的温度,调节通过空冷器的舷外水量,控制出口空气温度。

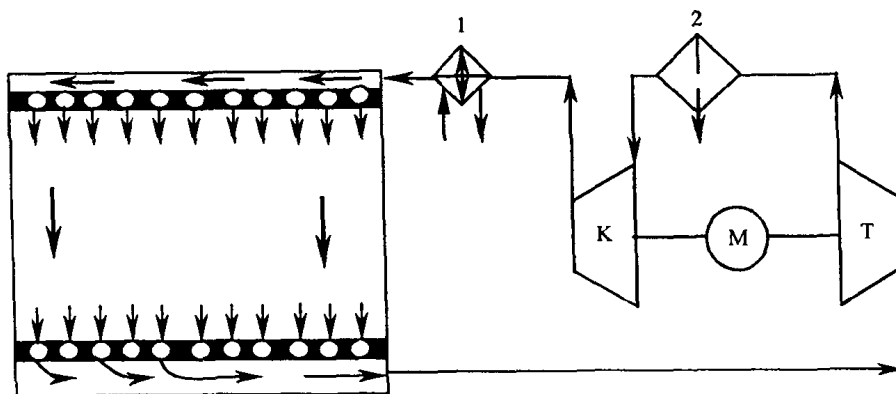


图 1.5 利用透平-压气机组的干货船货舱空气除湿装置工艺流程图
1-舷外水空气冷却器;2-液滴分离器;T-透平(透平冷却机);K-压气机;M-电动机

由于存在内部损失和机械损失,压气机消耗的功率大于透平发出的功率,为使装置工作,需补充部分功率,通常加装一电动机 M。

如果要获得低温的除湿空气,可采用按压缩-膨胀顺序工作的透平-压气机组。这时,压气机出口空气经过由舷外水冷却的空冷器,然后在透平机内膨胀、冷却降温后,送入货舱或需空调的舱室。

图 1.6 是利用氟里昂制冷机的货舱空气除湿装置原理图。空气通过制冷机的蒸发-冷却器 2(通常是肋片管束换热器)被冷却,空气中水蒸气冷凝,空气被除湿,空气的含湿量由 d_1 下降为 d_2 。在冷凝器-空气加热器 3 中,制冷剂蒸气和被加热的空气换热,被冷凝成液体。

因为冷凝器的热负荷大于制冷量(蒸发-冷却器 2 的热负荷),二者之差为压气机消耗的功率 $N_K(Q_K = Q_0 + N_K)$,因此空气在冷凝器内吸收的热量要大于在蒸发器内放出的热量,另外空气通过风机还要获得一些能量。因此空气在送入货舱前还要在用舷外水冷却的第二级空冷器 4 中进行冷却,空冷器工作规范由货舱内要求的温度高低确定。

图 1.7 为油船惰性气体除湿装置的工艺流程图。惰性气体来自特设的发生器或船用锅炉、内燃机、透平发动机。

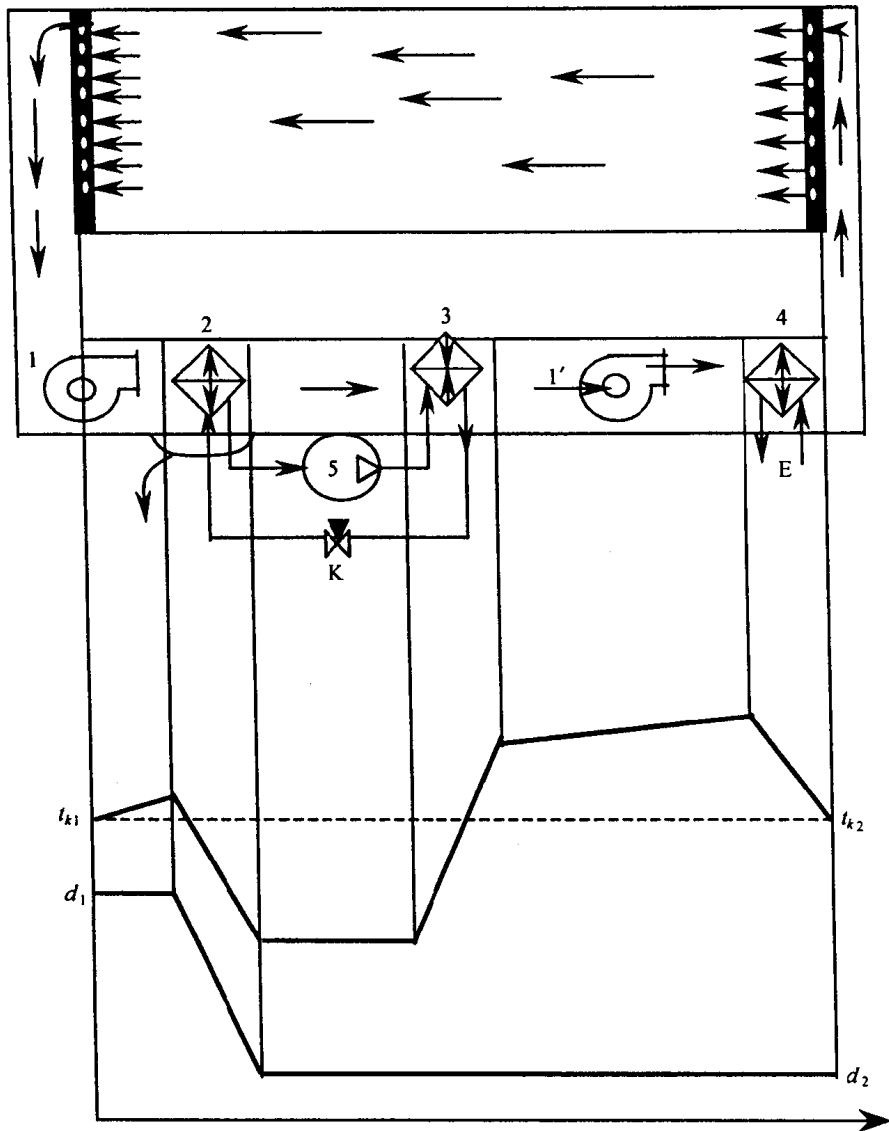


图 1.6 利用制冷机的空气除湿装置原理图及空气温度 t_k 、含湿量 d 变化图

1、1' - 风机; 2 - 蒸发器 - 空气冷却器; 3 - 冷凝器 - 空气加热器;
4 - 空气冷却器; 5 - 氟里昂压机; K - 节流阀; E - 舷外水

为了预先冷却和清除惰性气体中的二氧化硫及其他污染物，使其通过气体洗涤器 3 在洗涤器内气体同喷洒下来的舷外水相接触，舷外水由水泵 8 送入。为了增加接触表面积 洗涤器内放置特制的填料（陶瓷环）。洗涤器上部设置的填料层是为了分离气体中的细小液滴。从洗涤器出来的气体用鼓风机 11 送入接触式吸收器 4 用盐的水溶液对气体除湿和冷却（也可用具有吸湿能力的固体吸附剂吸收气体中的水分）

为了维持盐液槽 7 内恒定的盐液浓度，采用和吸收器类似的接触装置——解吸器 5。在解吸器内用空气带走盐液中的水，将其排入大气。

被冷却和干燥的惰性气体经阀门 15 进入储罐 6 储罐内维持恒定的剩余压力 $P = 2000 \sim 8500 \text{Pa}$ 。尽管储罐经过密封处理，但仍会有气体泄露，使罐内气体压力降低。为维持罐内气体

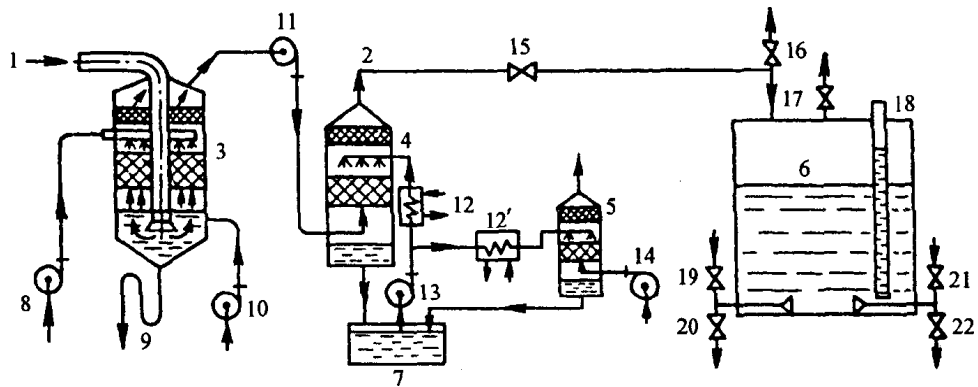


图 1.7 油槽惰性气体除湿系统流程图

1-高温惰性气体;2-除湿和冷却后的惰性气体;3-洗涤器;4-吸收器;5-解吸器;6-蓄油罐;7-盐液槽;8-喷淋泵;9-水封;10-压缩机;11-惰性气体鼓风机;12-盐液冷却器;12'-加热器;13-盐液泵;14-风机;15-惰性气体干线切断阀(常闭阀);16-通向大气的排气阀;17-泄压阀;18-蓄罐卸油和压舱水后吹洗用管;19、20-装、卸压舱水阀;21、22-装、卸油阀

的参数 根据罐内惰性气体压力的变化,周期地启动和关闭鼓风机 11。当鼓风机关闭时,常闭阀 15 自动地切断储罐和系统。

使惰性气体干燥和冷却也可用制冷机组代替上述系统。

第 2 章 舒适空调的生理卫生标准

2.1 外界介质和微气候对人类生命活动的影响及舱内形成舒适微气候的条件

生活在自然界的生命体 其中包括人类 始终受到外界环境的各种作用 会遇到各种气候、天气和自然条件 会感受到外界各种声音和辐射。和陆地上人们居住条件 始终和外界大气相通 不同 在船舶上 人们生活在非常拥挤的环境下 常常生活和工作在密闭的舱室内 每个船员人均占有舱室容积大约为 $5\sim 6\text{m}^3$ 而在密闭的深水装置中 人均占有容积还要小。

只有当外界介质参数变化幅度不超过人类机体长期养成的适应能力时，人们才能进行正常的生命活动和生产活动。

机体适应周围环境条件的过程称为生理适应过程。人机体对高幅度气象参数变化的不良反应称为不适应气候反应。

船舶有人停留舱室的微气候是指舱室内各种条件的综合作用，其中包括：机械条件、热湿条件、化学条件、生物条件、电磁条件、电的或磁条件。

机械条件是指呼吸气体的静压、气体流动速度、介质的声学震动（各种机械噪声、鸟啼、音乐等）。

热湿条件是指舱室内同人体表面、人的呼吸器官及其他器官接触介质的温度和湿度，以及人体表面和舱内其他物体、舱壁的辐射换热情况。

化学条件是指周围各种物质的气味，人新陈代谢产物的气味，对人体有影响的气态、液态、固态物质的浓度和数量。

生物条件是指室内空气中细菌、病毒种类和含量。

电磁条件是指环境的色调和其他视觉效果、射电波、周围物质的放射性辐射等。

电的和磁条件是指静电场和磁场。

由于人机体的新陈代谢 通过人的皮肤和呼吸器官不断地向外散发热量、水分和二氧化碳。取决于人的状态 睡眠、休息、脑力劳动或体力劳动、劳动强度 及周围空气介质的参数，每个船员每小时向外散发 $300\sim 1050\text{kJ}$ 热量 $40\sim 450\text{g}$ 的水分 $18\sim 36\text{L}$ 二氧化碳气体。除此之外 人在新陈代谢过程中还散发一些有害物质 氨、铵化物、易挥发脂肪酸、其他有害有机物等，使船舱内的空气被有害物质污染，舱内空气出现难闻的气味。因此应及时的把舱内的有害物质和二氧化碳随被污染的空气一起排除舱室 并向舱室送入新鲜的、干净的、有足量氧的空气。由于各种有害物质的含量总是正比于二氧化碳的含量，因此各舱室（人居住的、公用的、办公的）空气介质成分标准按二氧化碳的允许浓度确定 根据二氧化碳的含量决定换气量。

对于一些特殊用途舱室内的有害杂质、气味、污染物 要用引风机、吸收器等排除 换气

量不由二氧化碳的浓度确定，一般要根据舱室的用途，规定特殊的标准和要求。

空气中每时每刻都在进行着气体电离和去电离过程，空气中存在有各种正负离子。实际观察发现适当地提高空气中轻离子浓度（每立方厘米达到 2000~3000 个）并有较多的负离子（对人机体是非常有利的，改善心血管系统功能、改善睡眠、使人精力旺盛、增强人体对外界不利条件的抵抗能力）。空气中重离子多，会对人机体产生不利的影响。大气空气中含有轻离子的数量在地球上不同地区是不同的，例如在乡村、疗养区，尤其是在山区和海滨，空气中的轻离子数可达到每立方厘米 2000~3000 个，而在弥漫烟尘的大城市只有 150~200 个。

在船舱，特别是拥挤的船舱内，由于舱壁、设备、表面式换热器、过滤器、空调系统的空气管道和风机的表面吸附离子，舱室空气中进行着强烈的去轻离子过程，而舱内重离子数量明显增加，增加的多少同人呼吸气体中水滴、舱内机械污染物粒子浓度有关。

舱内空气中的离子主要来自室外新鲜空气。为维持舱室内有一适度浓度的轻离子，且其中有较多的负离子，最好是在船舶空调装置中引入专门的催离子。尤其是在客船上，空气中适度浓度的负离子可以对空气消毒，阻止微生物和致病细菌繁殖和扩散。但彻底完全地消灭所有微生物是有害的。

近年来，在舒适空调中特别注意到空气的除嗅和加味，即消除空气中使人不愉快的气味和添加一些对人机体有利的气味。

舱室内空气的洁净度（人机体新陈代谢产生的二氧化碳和其他杂质的含量多少）、品质（指空气中氧、轻离子的浓度和对空气消毒和使人愉快的气味，对空气除嗅和加味）是建立舒适微气候的条件。人在新陈代谢中必然要产生一定的热量，体力活动和脑力活动越剧烈，产生的热量越多。这些热量必须通过一定的方式散发出去。建立舒适微气候还必须使人有正常的冷热感和从舱室排除人体释放的水分。人对冷、热感觉良好的条件是人机体内产生的热和人体向外散失的热量相等，即要保证人有舒适的冷热感，应使人体内产生的热和人体向周围介质散失的热量处于热平衡。人体内产热的同时也向外散热，以使正常体内温度维持在 36.6~36.8℃。维持这一温度的原因是人机体能自动调节皮肤下血液流量及人体表面和环境的传质、消耗能量。

由于人机体具有的温度自动调节功能，使其能适应变化的外部大气环境。但这种调节功能不是无限制的，只有在偏离人体所需要的正常值不大时起作用。如果大幅度 and 剧烈地改变空气介质参数，将使机体的各系统（温度调节系统、传质过程、心血管系统、神经系统）生理机能遭到破坏。这时会发现人体机能发生不可逆复的不良变化，例如炎热地区生活的人，特别是初到炎热地区的人，体温升高，工作效率明显降低，身心感到压抑，容易激动等。

船舶舱室空调应使舱室空气介质参数维持在某一特定范围，使生活在舱室的人由于机体温度自动调节，自身感到舒适。人机体生命活动产生的热量是通过人的皮肤以辐射换热、对流换热、导热（显热）、汗液蒸发（潜热）及呼吸过程传给外界环境的。影响人体冷热感的因素大体如下：周围空气介质的温度 t_j 、相对湿度 φ_j 、流动速度 ω_j 、四周舱壁的温度 t_b 。上述参数的不同组合可使人有相同的冷热感。如果生活在舱室里的人既不感到热也不感到冷，也没有空气流动的感觉，则舱内空气介质（包括舱壁温度）被认为是冷热舒适的。

和人的劳动强度大小和穿衣服的多少有关，冷热感舒适的空气参数具有不同的值。人体和四周舱壁辐射换热量的大小和方向取决于人体和舱壁的温度、对流换热、导热量的大小。

取决于周围空气的温度、湿度、空气的流速及衣服的保温性。人体以导热方式向外传递的热量很小，人体同外界交换的显热主要是以辐射换热和对流换热方式进行。由于人体表面水蒸气饱和水蒸气分压力和周围空气中水蒸气分压力存在差值，人体表面水分蒸发和周围空气交换潜热消耗了机体的热量（能量），只要周围空气的露点温度 t_{Dp} 低于人体表面皮肤的温度，很少出现 $t_{Dp} > 33$ 的情况，人体总是靠表面水分蒸发向外散热。当舱室空气温度不变时，空气的相对湿度 φ_k 越低，散热量越大。

人体向外散失显热和潜热的比例取决于周围空气介质参数和人机体的工作负荷，在通常情况下，水分蒸发散热占 22%，对流占 32%，辐射占 46%。当周围空气、四周壁面温度不变时，随人机体工作负荷增加，向外散热量增加，体表水分蒸发散热份额也增加。

当人体工作负荷不变时，人体向外散失的总热量不变。如果空气温度升高，散失的显热份额减少，而潜热份额增加。如果周围空气温度和四周壁面温度等于人体表面温度时，人机体产生的热量将全部依靠体表水分蒸发传给环境；如果周围空气温度和四周壁面温度高于人体温度，则人体靠蒸发向外导出的热量除人体自身产生的热量外，还应包括以对流和辐射方式从外界传给人体的热量。当外界空气温度和湿度较高时，提高周围空气的流速可使人体向外散失的热量增加，不仅人体向外散失的显热量增加（由于放热系数增加），潜热量也增加（由于气流吹掉人体表面的饱和蒸汽层）。但是如果空气温度超过 33°C ，增加空气流速会导致相反的效果——由于对流放热的热流方向是从空气向人体，结果是人体向外散失的热量减少。

当空气温度 t_K 、相对湿度 φ_K 、速度 ω_K 的值都不很理想时，如果周围物体壁面温度 t_b 具有一理想值，使人体和壁面能进行有效地辐射换热，人机体也会既不感到过热，也不感到过冷。但这种情况不是总能达到的。研究结果表明，舱壁采用可调温护板，能较经济的保证舱室冷热舒适。

必须指出，虽然人机体的冷热感是由参数 t_K 、 φ_K 、 ω_K 和 t_b 确定，但不是它们的任意组合都能保证舒适条件。每一个参数变化都不是任意的，只能限制在一定的范围，以满足舒适冷热感的条件。

2.2 常压下呼吸气体对人呼吸器官和人体生命活动的影响

生命机体能正常从事各种活动的首要条件是其内部组织和器官能得到足够的氧气供应。为了保证人的正常生命活动，视其工作负荷大小，每分钟需要 $0.25 \sim 0.30\text{L}$ 或更多的氧气供应。

人生命活动需要的氧气通过人的呼吸器官吸入人体，然后和呼吸色素——血红蛋白结合形成氧络血红蛋白而被血液吸收，最后由血液送到人体的各器官和组织。进入细胞后，氧和血红蛋白分离，进行化学反应生成二氧化碳气体。产生的二氧化碳又由血红蛋白从人体组织中带出。

通常 1L 血液可吸收大约 $0.20 \sim 0.21\text{L}$ 氧气。由于血液中有血红蛋白，血液容纳氧的量是水或其它盐溶液溶解氧量的 70 倍。

如果血液中有足够的血红蛋白，人体不会缺氧（血氧过少），否则即或人体吸入纯氧也毫无帮助（如果人的大脑缺氧超过 $5 \sim 6\text{min}$ 就会使人死亡）。

但血红素不仅能和氧结合 也能和其他某些物质结合 例如和一氧化碳。血红素和一氧化碳的结合物被称做羧络血红素，它的稳定性是氧络血红蛋白的 150~300倍。基于这一原因 吸入的空气中即或含有极微量(0.1% 的一氧化碳 也会和大量的(80% 血红素形成牢固的结合，这对人是非常危险的。在这种情况下尽管供给人足够量的氧气，人也会因窒息而死亡。其他强氧化剂——苯胺、红血盐等对人体的作用和一氧化碳类似。人组织和器官内氧的浓度低于血液中氧的浓度，而二氧化碳的浓度要比血液高，这保证了扩散传质过程的进行。人呼吸器官从大气吸入的空气中含有 $O_2 - 20.95\%$; $CO_2 - 0.03\% \sim 0.4\%$ 及数量不等的水蒸气。人呼出的空气是饱和湿空气 温度为 $35 \sim 37^\circ C$ 其中含有 $15.5\% \sim 10\%$ 的 O_2 和 $2.5\% \sim 5\%$ 的 CO_2 。通常情况下 成年人每分钟呼吸 13~20 次 吸入 60~90L 空气。吸入氧的 20% 被人机体吸收。处于静止状态的人每小时大约吸入 $19LO_2$ 呼出 $16LCO_2$ 二氧化碳对人体的作用是人所共知的，它加入呼吸调节、参加人体的血液循环和气体代谢等。二氧化碳的允许浓度和其作用时间有关，例如当作用时间 $\tau = 10min$ 允许浓度为 $K_{CO_2} = 13\%$ (分压力 $P_{CO_2} = 13.3kPa$) 当 $\tau = 1$ 昼夜时 $K_{CO_2} = 2.6\%$ (分压力 $P_{CO_2} = 2.67kPa$)。

呼吸气体中二氧化碳量不足或过量，都会对人机体状态产生有害的影响。如果二氧化碳量不足 ($K_{CO_2} < 0.03\%$) 会使人体的许多重要器官功能紊乱 如果二氧化碳过量 ($K_{CO_2} > 1.5\%$ 人体会出现酒醉后的麻醉症状 如头疼等。实验发现 如果吸入空气的二氧化碳浓度 $K_{CO_2} = 0.5\% \sim 1.5\%$ ($P_{CO_2} = 0.507 \sim 1.52kPa$)，人的工作能力和主要器官的生理功能不会有任何变化。使人体舒适的浓度为 $K_{CO_2} = 0.04\% \sim 0.5\%$ 分压力为 $P_{CO_2} = 0.04 \sim 0.51kPa$ 。

人正常生命活动需要的氧气浓度为 $K_{O_2} = 21\%$ 分压力 $P_{O_2} = 21kPa$ 。实验发现 只要 $P_{O_2} \leq 53kPa$ ，不会出现氧中毒现象。如果长时间吸入大气压力或高于大气压力的纯氧，就会出现氧中毒 胸痛、咳嗽、心脏功能破坏等 如果持续 2~3 昼夜 会出现肺水肿 最后导致氧中毒性肺炎)。呼吸气中氮气的生物功能到目前为止还不完全清楚。某些研究人员认为，氮气 和空气中氢、氦、氖、氩、氙一样 是生物惰性气体 而且可以用其他生物惰性气体代替。目前氮气是任何呼吸气体的成分之一。但呼吸气体压力超过 $0.5 \sim 0.7MPa$ 时 不能用氮作呼吸气体的惰性气体。呼吸气体中还含有二氧化硫 (SO_2 和其他含硫化合物 其含量大于 $0.05mg/m^3$ (日平均值) 它们会对人体产生有害的影响 其一次允许浓度为 $0.5mg/m^3$ 。

前面已谈到一氧化碳对人机体的影响。呼吸气体中 CO 极限允许浓度为：一次浓度 $3mg/m^3$ 日平均 $1mg/m^3$ 。一氧化碳比空气轻，都积聚在舱室空间的上部。

氨气、氟化氢、铅和汞蒸气及其他一些物质 尤其是空气中的粉尘 例如 SiO_2 都会对人机体产生有害的影响。

2.3 非大气压力下的呼吸气体

水下深潜的必要性是人所共知的，与此相联系的是人要长时间在深水下生活和工作。这时呼吸气体的压力要高于外界大气压。呼吸气体的压力应等于相应水压的压力。采用通常大气中的空气作为呼吸气体，如前面指出的，当压力达到 $0.5 \sim 0.7MPa$ 时 人长时间吸

入 会使人产生氮麻醉和氧中毒。

当呼吸气体的压力低于大气压时，又会引起人体缺氧及引起血液和人体组织中其他液体沸腾。人呼吸气体的最低极限压力为 0.052MPa 约等于海拔 5000m 高度的大气压。

因此 当压力升高或降低时 必须采用和大气中空气成分不同的呼吸气体。因为呼吸气体、其组分的压力对有生命机体产生不是直接物理作用而是化学作用。压力的变化使气体的生物活性发生变化。同时 压力升高或降低使气体各组分出现新的 通常是对机体有害的性质。同时，为缩短降压时间还需要专门的呼吸气体。

呼吸气体应符合下列要求：

- 各组分应是无毒的(在极限压力下)；
- 不存在爆炸和燃烧危险，或呼吸气体中氧的浓度不会引起爆炸和燃烧；
- 当其流动情况和大气中空气相同时，其放热系数应和空气相同；
- 不能使人声音失真；
- 氧的分压力应不大于 $0.016\sim 0.059\text{MPa}$ (最好是 $0.022\sim 0.054\text{MPa}$)；
- 其基本组分在血液和人体组织中应具有最小的溶解性；
- 其基本组分应是生物惰性的；
- 其密度在任何压力下不应超过大气空气密度的 9 倍；
- 不引起超压神经综合症(处于半无感觉状态 精神萎靡不振 动作反应迟缓 似睡非睡)

呼吸气体的成分组成取决于其压力的高低。目前 水下机械装置采用的呼吸气体为 当绝对压力 $P=0.1\sim 0.2\text{MPa}$ 时 采用空气 绝对压力为 $P=0.1\sim 0.51\text{MPa}$ 时 采用氮-氧混合气体或氦-氧混合气体 混合气体中氧的分压力为 $0.02\sim 0.05\text{MPa}$ ，氮-氧混合气体氮的分压力为 $0.04\sim 1.04\text{MPa}$ ，氦-氧混合气体中氦的分压力为 $0.04\sim 0.12\text{MPa}$ 。在使用的压力范围内，氧的百分比含量随压力升高而减少(参看图 2.1) 其最大值不应大于 25% (按容积成分)。

随舱内气压升高，呼吸气体中有害杂质的毒性急剧增加。在大气压下允许的杂质当下潜到几十米深的水下时，对人能引起致命的危害。

通过人体实验发现，在高压下人体会排泄出一氧化碳(CO)这一事实使生理学家感到出乎意料。因此，在高压舱中应采用 CO 过滤器 防止发生煤气中毒(太阳穴痛、失去知觉) 为排除其他有害杂质，采用大容量吸收过滤器。前面已经提到，氮的生物作用至今还不十分清楚 当其分压力 $P_{N_2}=0.078\text{MPa}$ 时 通常大气

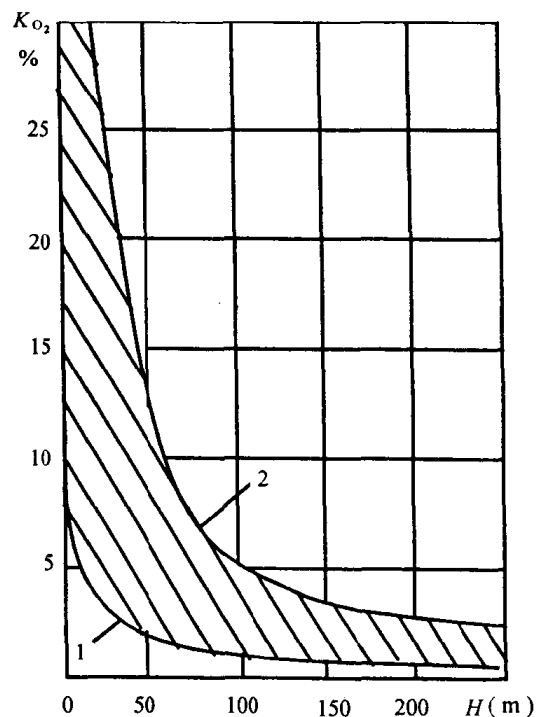


图 2.1 呼吸气体中氧浓度 K_{O_2} 和潜水深度的关系
1-最小值;2-最大值