

## 第八章

## 自携式潜水装具

潜水装具是为适应水下环境而佩戴在潜水员身上的所有器材的统称,用以解决潜水员水下呼吸、压差、低温和浮力等问题,是保证潜水员在水下正常呼吸、防寒保暖、稳定自由地进行水下作业必不可少的装备。自携式潜水装具通常包括气瓶、面罩、供气装置、潜水服、脚蹼及其他附属器材。

自携式潜水装具的优点和缺点如下。

(1) 活动范围大。使用自携式潜水装具,潜水员在水下活动范围相当大,如果使用辅助推进器,活动范围可进一步扩大。此外,水面限制小,可向任何方向自由活动。遇到应急情况时,潜水员能直接上升出水。在封闭空间内潜水不能使用自携式潜水装具。

(2) 深度调整方便。使用自携式潜水装具时,其浮力接近于重力,这使潜水员易于改变或保持一定深度。由于自携式潜水装具具有这一特殊优点,所以便于进行不同深度的水下作业。

(3) 携带方便。自携式潜水装具携带方便,使用简单,这也是它的独特优点,可以随时迅速投入战斗使用。在工作限度内,潜水员可灵活而经济地完成大量工作。

(4) 深度和时间有限。使用自携式潜水装具,水底停留时间主要受携带气量的限制,潜水员必须注意工作时间限度。

(5) 防护性能差。使用自携式潜水装具,潜水员直接暴露于水下环境,体温防护差,可能会接触海洋有害生物,容易被水流冲走。

(6) 缺乏通信功能。一般自携式潜水装具不具备通信功能,因此,水面与水下无法联系,不便于指挥。

本章主要介绍 69-4 型和自携式水下呼吸器两种潜水装具的性能、结构组成、工作原理、操作使用和维护保养等,并分析发生应急情况的可能原因和采取措施。



图 8-1 69-4 型潜水装具

### 第一节 69-4 型潜水装具

69-4 型潜水装具(图 8-1)主要由压缩空气瓶、潜水服、供气调节器、面罩、压铅、脚蹼、信号绳及附属器材等部件组成。装具设计性能:下潜深度 40 m 以浅,气瓶容积 12 L,极限工作压强 20 MPa。

# 一、压缩空气瓶

压缩空气瓶是储存供潜水员呼吸使用的压缩空气的容器，包括气瓶、气瓶阀、信号阀、安全阀及气瓶背架。气瓶总成有两种可供选择：钢质气瓶总成和铝合金气瓶总成，如图 8-2 所示。压缩空气瓶通常由以下几部分组成。

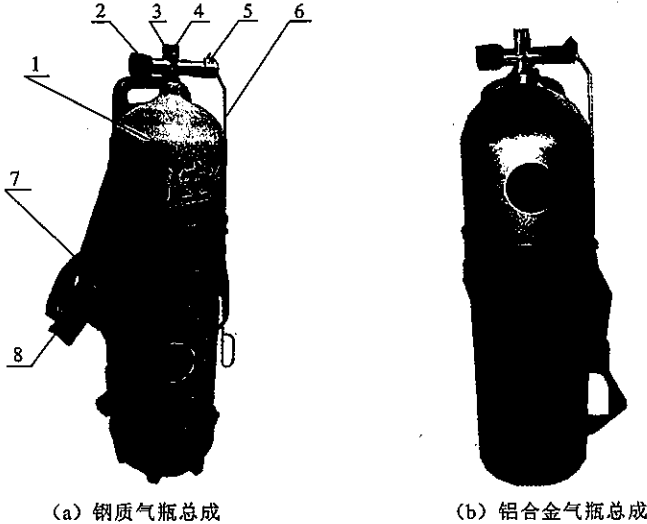


图 8-2 压缩空气瓶

1. 钢瓶; 2. 气瓶气轮; 3. 气瓶阀; 4. 安全阀; 5. 信号阀; 6. 信号阀拉杆; 7. 背架; 8. 背带

(1) 气瓶。气瓶体积为  $12 \pm 0.5 \text{ L}$ ，工作压强为  $20 \text{ MPa}$ 。钢质气瓶总成和铝合金气瓶总成结构、功能及使用方法相同，区别在于气瓶制造材质不同。气瓶的内外壁不需要涂保护漆，也不需要配气瓶座。

(2) 气瓶阀。气瓶阀是气瓶的高压气路开关，同时也是连接一级减压器的重要组成部分。气瓶阀手轮顺时针方向转动为关，反之为开。气瓶阀和信号阀结构图如图 8-3 所示。

(3) 信号阀。当气瓶压力降至额定压强  $3.5 \pm 0.5 \text{ MPa}$  时，信号阀会提醒潜水员应立即上升出水。信号阀工作原理图如图 8-4 所示。

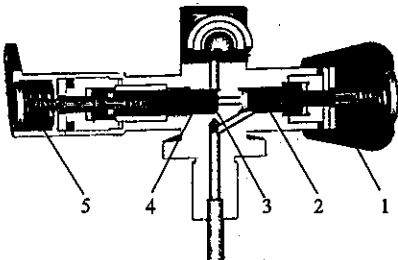


图 8-3 气瓶阀和信号阀结构图

1. 气瓶阀; 2. 气瓶阀阀头; 3. 信号阀阀头; 4. 信号阀调节组件; 5. 调节弹簧

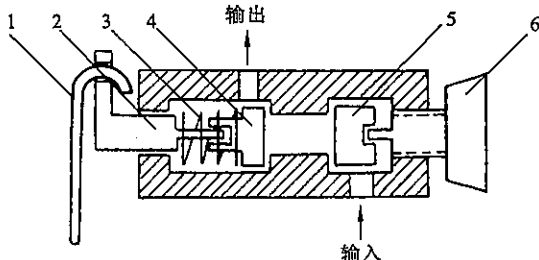


图 8-4 信号阀工作原理图

1. 拉杆; 2. 开启装置; 3. 弹簧; 4. 信号阀阀头; 5. 气瓶阀阀头; 6. 手轮

信号阀在常压下置于工作位置 [图 8-5 (a)]，开启装置靠弹簧的张力把气路关闭。当

气瓶阀打开时，高压空气通过气路、阀体上的通气孔，并克服开启装置的弹簧张力使气体输出。

潜水时将信号阀置于工作位置（即信号阀杆推上），当气瓶压强降至额定压强（ $3.5 \pm 0.5$  MPa）时，开启装置的弹簧张力超过气瓶内的气体压力，开启装置上的滑阀将气路接近关闭（但尚未完全关闭），潜水员感到供气不畅，吸气阻力增大。此时应提醒潜水员不宜继续在水底停留。一方面应将信号阀拉杆拉下，使信号阀转至解除位置[图 8-5（b）]，保证供气恢复正常。另一方面应立即按规定上升出水，以免气瓶储气全部用尽发生供气中断，导致潜水事故发生。

当气瓶压强降低，无法保障潜水员潜水使用时，应当及时对气瓶进行充气，此时应将信号阀置于解除位置（即信号阀杆拉下）[图 8-5（b）]，使高压气体进入气瓶。

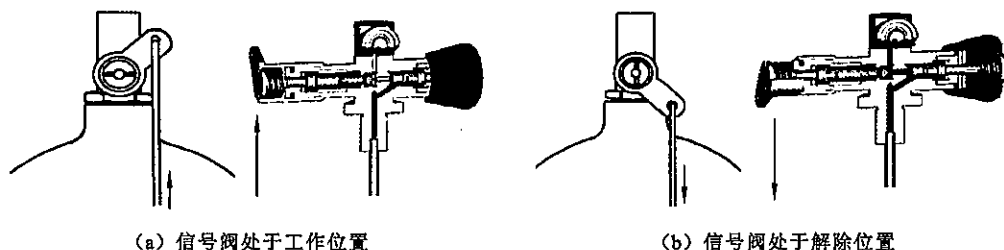


图 8-5 信号阀位置示意图

(4) 安全阀。安全阀装在气瓶的高压气路上，阀内装有钢制安全膜片，膜片的击穿压强为 24~28 MPa。当气瓶内气体压力超过击穿压力值时，膜片被击穿，瓶内气体从安全阀孔中排出，从而防止气瓶发生爆炸。

(5) 气瓶背架。气瓶背架也称背托，在固定气瓶和潜水员背负气瓶时使用。背托上有背带、裆带。

## 二、潜水服

潜水服的作用是防寒保暖，并保护潜水员在水下工作时身体免受伤害。潜水服分为干式潜水服（图 8-6）和湿式潜水服（图 8-7）。

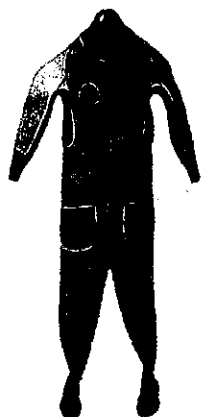


图 8-6 干式潜水服（连体式）

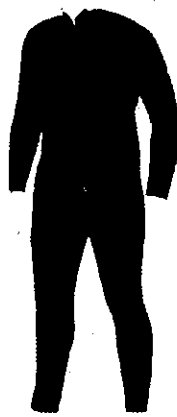


图 8-7 湿式潜水服（分体式）

### （一）干式潜水服

干式潜水服是用泡沫氯丁橡胶尼龙或其他防水密封性能好的材料制成，有面密封和颈密封两种形式。面密封干式潜水服由帽、颈箍、衣、裤、鞋组成连体服；颈密封干式潜水服除颈上部的帽子与衣服分开外，其余和面密封干式潜水服相同。干式潜水服前胸装有手动供气阀和手动排气阀，在后背或两袖之间装有水密拉链，便于潜水员穿脱。干式潜水服可将人体与水完全隔开，保暖性能较好，适合水温 15℃ 以下使用。天气寒冷的情况下，在干式潜水服内还可加穿保温内衣。

### （二）湿式潜水服

湿式潜水服是用合成海绵橡胶与尼龙纤维织物制成，有分体式和连体式两种形式。这种潜水服不水密，潜水时水仍能通过领口、袖口等衣裤开口处流入潜水服内，和人体皮肤直接接触，所以称为湿式潜水服。只有水温在 15℃ 以上时，方可使用湿式潜水服。

湿式潜水服富有弹性，穿着后能紧贴人体皮肤，减少水与人体之间的热对流。同时因其材料的隔热性，能减少人体对水的热传导损失。潜水时水虽然可以流入潜水服内，但进入潜水服内的水基本上不再流动，水被人体体温加热后，在人体与潜水服之间形成一个保温层，起到一定的保暖作用。

## 三、供气调节器

供气调节器是根据潜水深度和劳动强度等条件的需要，把气瓶所储存的压缩空气自动调节成符合该条件下潜水员呼吸所需要压强和流量的重要装置。供气调节器由一级减压器、二级减压器和中压软管组成，中压软管工作压强为 1.5 MPa。

### （一）一级减压器

一级减压器的作用是将气瓶内储存的高压压缩空气经过减压，降低为比环境压强高  $0.95 \pm 0.05$  MPa 的中压气体，通过中压软管输送至二级减压器，供潜水员使用。

一级减压器采用顺向平衡活塞结构（图 8-8），主要部件有本体、活塞套筒、活塞、输出转动接头、高压进气接头、夹头、手轮等。一级减压器设有两个高压输出口，可连接水下压力表等部件，以便潜水员在水下随时掌握空气瓶中供气压强的变化。在输出转动接头上设有 4 个中压输出口，可同时接装 4 根中压软管，向不同的用气部件供气。一级减压器的输出流量大于常用减压器，可同时供给 2~3 人使用，因此输出转动接头上可连接充气背心、备用供气阀、他救供气阀。输出转动接头可 360° 平面旋转。

减压器的的工作原理：当高压气体经高压进气接头、本体、活塞进入中压腔室后，中压腔室内气体压强升高，该压力作用在活塞上克服弹簧的作用力，使活塞移向阀座截断气路。减压器输出口有气体输出时，中压腔室内压强降低，弹簧力作用在活塞上使减压器阀门开启，高压气体再次进入中压腔室。当输出气停止时，中压腔室内的压强回升，又使得活塞截断气路，起到减压作用。一级减压器的阀门随潜水员呼吸而启闭。

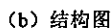
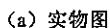


图 8-8 69-4 型一级减压器

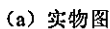
1. 手轮; 2. 防尘罩; 3. 夹头; 4. 弹簧; 5. 输出转动接头; 6. 堵头; 7. 备用供气阀接头; 8. 中压气出口  
9. 活套套筒; 10. 活塞; 11. 环境压力入口; 12. 本体; 13. 阀座; 14. 高压进气接头; 15. 高压气出口

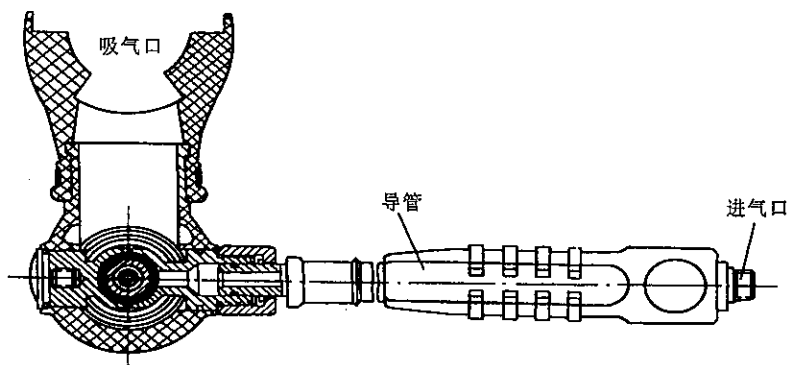
一级减压器的主要特性如下。

- (1) 当输入压强为 20 MPa 时, 平均输出流量为 1000 L/min。
- (2) 当输入压强为 3.5 MPa 时, 平均输出流量为 750 L/min。
- (3) 输出压强为  $0.95 \pm 0.05$  MPa。
- (4) 输出额定流量时, 减压器的压强下降  $\leq 0.18$  MPa。
- (5) 减压器阀门关闭后压强回升  $\leq 0.05$  MPa。

## (二) 二级减压器

二级减压器（供气阀）是将中压软管的中压气体通过减压供给潜水员呼吸使用。目前有两种型号可供选择：DYH.II 型供气阀（图 8-9）和 DYH.III 型供气阀（图 8-10）。





(c) 整体结构图

图 8-9 DYH.II 型供气阀



图 8-10 DYH.III 型供气阀

### 1. DYH.II 型供气阀

DYH.II 型供气阀采用独特的气动平衡控制阀, 这种阀的作用是使波动的压力空气平滑自然地流入气腔, 流入时感觉轻松, 不会感到有压力。

DYH.II 型供气阀采用平衡阀结构, 阀门关闭力很小。气阀由壳体、上盖、大膜片组件、阀座、进气管、摇杆、阀杆、阀头、保护罩、咬嘴等部件组成。

DYH.II 型供气阀的工作原理: 当潜水员吸气时, 壳体内产生真空, 引起膜片内弯曲, 膜片压向摇杆打开阀门, 气体便从阀门流出, 通过阀体直接通向咬嘴。停止吸气时, 壳体内进入空气后真空度减小, 膜片及摇杆复原, 阀门关闭, 供气停止。呼气时, 大膜片不动, 小膜片弯曲达到排气状态。呼气结束后, 腔体内外平衡, 小膜片自动复原。

供气阀的主要特性如下。

- (1) 当供气压强  $> 1.0 \text{ MPa}$  时, 产生微量自供。
- (2) 当供气压强  $\leq 0.95 \text{ MPa}$  时, 无自供现象。
- (3) 当供气压强为  $0.95 \text{ MPa}$  时, 平均流量为  $800 \text{ L/min}$ , 壳内真空度  $\geq -22 \text{ mm H}_2\text{O}$  ( $1 \text{ mmH}_2\text{O} = 1.333 \ 22 \times 10^2 \text{ Pa}$ )。
- (4) 小膜片打开, 排气量为  $500 \text{ L/min}$  时, 平均压强  $\leq 13 \text{ mmH}_2\text{O}$  ( $1 \text{ mmH}_2\text{O} = 1.333 \ 22 \times 10^2 \text{ Pa}$ )。

## 2. DYH.III 型供气阀

DYH.III 供气阀由壳体、上盖、大膜片、大膜片卡套、大膜片芯、阀体、进气管、阀座螺钉、摇杆、阀杆、阀头、导流拨片、排气膜片、保护罩、咬嘴等部件组成。供气阀输入压强为  $0.6\sim 1.0\text{ MPa}$  的中压气体，气体流入时，首先流入在阀座螺钉的空腔内，此时气体施加在阀头上的力略小于弹簧的张力，阀座螺钉和阀头咬合，只要施加很小的力就能使阀座螺钉和阀头分离，供气阀开始供气，呼吸时的呼吸阻力较小。

DYH.III 供气阀的工作原理：当潜水员吸气时，壳体内产生真空，真空引起大膜片内弯曲，大膜片压向摇杆拉动阀杆，阀座螺钉与阀头分离，空气从阀座螺钉进入壳体，并通过导流拨片直接通向咬嘴进入潜水员口腔；停止吸气时，壳体内进入空气后真空度减小，大膜片及摇杆复原，阀座螺钉与阀头复位，供气停止；呼气时，大膜片不动，排气膜片弯曲达到排气状态；呼吸结束后，腔体内外气压平衡，排气膜片自动复原。

## 四、面罩

69-4 型潜水装具的面罩分半面罩和全面罩，可根据实际使用情况加以选择。面罩的主要用途是在眼睛和水之间保持一个空气层，使潜水员的眼睛和鼻子免受水的刺激，另外，光线最终由空气进入眼睛，水中景物成像能聚焦在眼球的视网膜上，使潜水员在水下获得更好的清晰度和能见度，从而改善水下视觉。常用的面罩包括以下几种。

### （一）M102B 型半面罩

M102B 型半面罩（图 8-11）由面窗玻璃、面罩框、面垫、排气膜片、排气罩、头带、卡扣、调节夹等部件组成。该型面罩与其他面罩不同之处是在其底部装有单向排气阀，可通过此阀进行排气和排水。

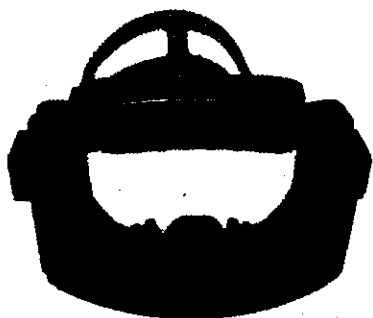


图 8-11 M102B 型半面罩

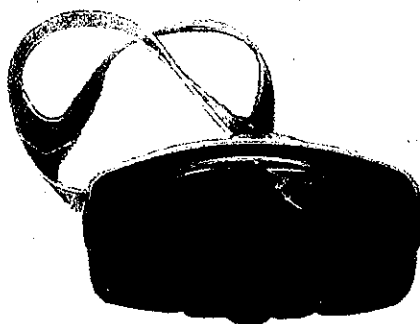


图 8-12 M126 型半面罩

### （二）M126 型半面罩

M126 型半面罩（图 8-12）由面窗玻璃、面罩框、面垫、头带、卡扣、调节夹等部件组成。M126 型半面罩的面窗玻璃使用的是钢化玻璃，在潜水过程中内侧玻璃不易起雾。面垫使用柔软的硅胶材质，配以人体工程学设计，更加贴合面部，佩戴舒适。

### (三) M273 型半面罩

M273 型半面罩（图 8-13）采用无框架设计，视野开阔，面垫柔软舒适，贴合面部轮廓。



图 8-13 M273 型半面罩



图 8-14 QM201 全面罩

### (四) QM201 全面罩

QM201 全面罩（图 8-14）是在 69-3 型潜水装具的开放式全面罩基础上，参考和借鉴了国外新式面罩的样式和思路改进而成，在外观、视野、操作性、功能性、佩戴舒适度等方面有了明显提高。该面罩本体采用硅胶材料，可避免接触皮肤过敏。该面罩在污染环境或寒冷水域尤为适用，可用于军事、商业及工程技术潜水等诸多领域。

## 五、压铅

压铅用于调整潜水员在水下的浮力。每套潜水装具配有 8 块压铅，每块重量为 1kg。压铅分有扣式和带式两种（图 8-15），潜水时潜水员可以结合自身重量、水流和作业环境等因素佩戴使用。

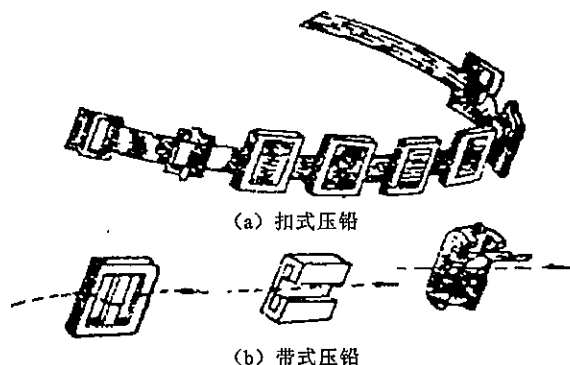


图 8-15 压铅

## 六、脚蹼

脚蹼是用压模橡胶制成的助游器材，可提升潜水员在水中运动速度。脚蹼一般可分两种类型，即游泳型和动力型（图 8-16）。游泳型脚蹼比较小，重量较轻，质地较软，适宜长时



间水面游泳,腿部肌肉用力较少,也比较舒适。动力型脚蹼较长、较重,质地较硬,它适用于缓慢、短促的击水,虽然穿着不如游泳型脚蹼舒适,但可在短时间内获得较大推力。目前部队装备的潜水脚蹼有两种形式:一种是套式,另一种是带扣式。前者类似于游泳型,后者类似于动力型,潜水员可根据自己的习惯和作业需要进行选择。

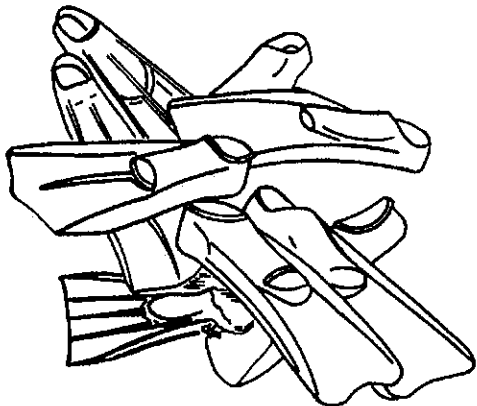


图 8-16 脚蹼

## 七、信号绳

信号绳是潜水员与水面保障人员相互联系的纽带,主要作用是保障信号联络与水下安全。信号绳必须牢固,浮力为中性或具有负浮力。当潜水员单独工作或潜水环境恶劣,以及新潜水员训练或作业时,应使用信号绳以保障安全。

## 八、附属器材

除以上几种部件,69-4 型潜水装具还包括如下几种附属器材。

(1) 压力表。压力表用于测量气瓶内储气压力。

(2) 呼吸管(水下通气呼吸管)。呼吸管是潜水基本功训练时的必备器材,也可在屏气潜水或水面游泳时用来呼吸。使用呼吸管既可节省气瓶内的气源,同时由于口鼻不露出水面,还可以节省体力。呼吸管一般是用塑料或橡胶制成,下端弯曲,端头装有橡胶咬嘴。呼吸管的通气内径为 16~20 mm,长度一般为 320 mm 左右。使用时,可将呼吸管用特制的橡胶圈套在半面罩的头带上,也可以直接插在半面罩的头带内。

(3) 潜水刀。潜水刀为钢制刀锋,橡胶刀柄,是潜水员在水下使用的工具之一。潜水刀一般长 20 cm,一侧为刀刃,另一侧为锯齿形,十分锋利,具备切、锯功能。潜水刀平时存放在金属或橡胶制成的刀鞘中,潜水时随身携带,置于方便取出的部位。当潜水员的信号绳、软管或脐带被缆绳或其他障碍物缠绕而又难以脱身时,可用潜水刀割除障碍物,从而脱离险境。潜水刀也可供水下防卫用。为了保证自身安全,提高工作效率,遇难时迅速摆脱困境、转危为安,潜水时必须带上潜水刀。

(4) 深度表。深度表用来测量潜水员所处的水下作业深度,可以从表盘上直接读出潜水深度。表盘上的数字一般较大,而且有夜光功能,潜水员能在能见度较差或黑暗的环境下看

清读数。深度表戴于手腕即可，便于观察。深度表应力求准确，如怀疑其准确性，可在加压舱内校准。

(5) 潜水手表。潜水手表应防水、耐压，表面外装一个可旋转的计时圈，用来计算潜水员水下工作时间。表盘刻度一般是夜光型，且数字较大，具备防磁功能。潜水手表与普通手表一样戴于手腕上。

## 第二节 自携式水下呼吸器

自携式水下呼吸器（self-contained underwater breathing apparatus, SCUBA）适用于 40 m 以浅的水下作业。

目前，世界五大潜水装备品牌公司（Aqua-Lung、Scubapro、Mares、Poseidon、Tusa）都生产不同型号的 SCUBA，各公司在材质、样式和制造工艺方面有所不同。

### 一、性能参数

SCUBA 的性能参数如下。

- (1) 一般作业深度：40 m。
- (2) 最大作业深度：58 m（必须征得潜水指挥许可）。
- (3) 气瓶容积：12 L/18 L。
- (4) 工作压强：20 MPa。
- (5) 一级减压器输出压强：0.95 MPa。

### 二、结构组成

SCUBA 的组成（图 8-17）包括气瓶（单瓶或双瓶）、供气调节器、面罩、潜水服、浮力背心、脚蹼、潜水刀、压铅和压铅带、压力表、深度表和指南针等。

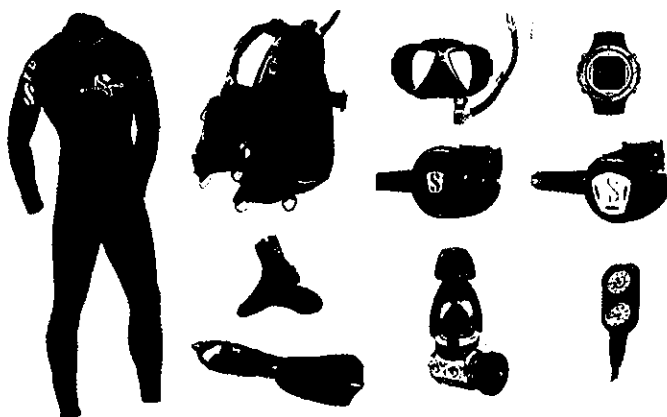


图 8-17 SCUBA 组成

## （一）空气压缩气瓶

近年来生产的 SCUBA 普遍采用铝合金气瓶，分单瓶与双瓶两种（图 8-18），一般无背架（背托），与浮力背心配套使用，潜水员也可以用气瓶上的背托、背带及裆带等辅助设备将其背负使用。气瓶由瓶体、气瓶阀和安全阀组成，工作压强为 20 MPa，容积为  $12 \pm 0.5$  L。

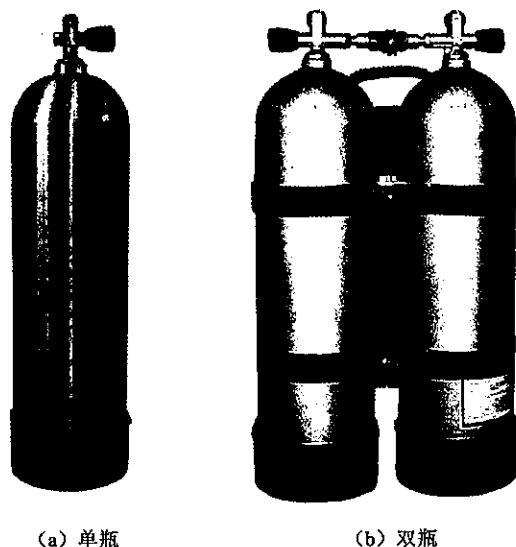


图 8-18 铝合金气瓶

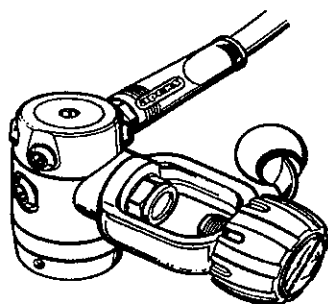
铝合金气瓶使用高强度铝合金制造，外部阳极防锈处理，瓶身表面喷砂处理，摩擦系数较大，套装在浮力背心上不易脱落，瓶底座为耐撞橡胶。瓶身外径为 18.4 cm，瓶高 66 cm，质量为 14.3 kg，容量为 11.1 L。

（1）气瓶阀。气瓶阀是控制开、关高压空气的重要部件，同时还是连接一级减压器的的重要组成部分。

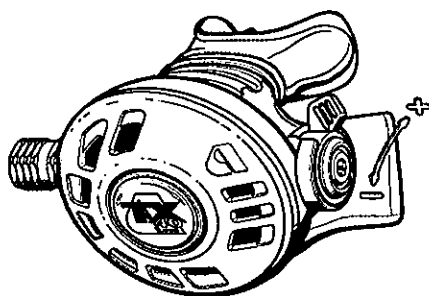
（2）安全阀。为防止气瓶压力过高出现意外，瓶阀必须安装排气塞或安全膜。使用双气管时，按规定必须安装双排气塞或安全膜。安全膜是新型安全阀，已成为装具的标准配件。膜片的击穿压强为 24~28 MPa。当气瓶内气体压强超过 24~28 MPa 的某一值时，膜片被压破，瓶内气体从安全阀孔中排出，从而防止气瓶发生爆炸。

## （二）供气调节器

供气调节器是将气瓶所储存的压缩空气根据潜水深度和劳动强度等条件，自动调节成符合该条件下人体呼吸所需要的压力和流量的装置。供气调节器（图 8-19）由一级减压器、二级减压器和中压软管组成。一级减压器与二级减压器之间用中压软管连接，中压软管工作压强为 1.5 MPa。为防止一级减压器失灵造成输出气体压强超过软管工作压强，在一级减压器输出端装有安全阀，以保护软管。



(a) 一级减压器

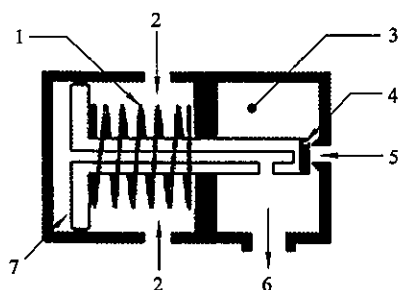


(b) 二级减压器

图 8-19 供气调节器

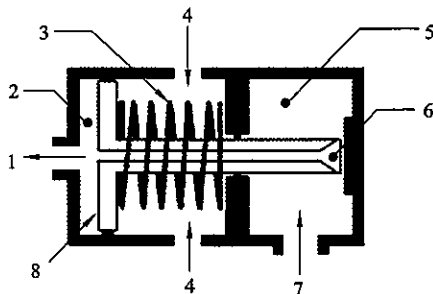
## 1. 一级减压器

一级减压器的作用是将气瓶内储存的高压空气减压,并提供给二级减压器使用中压气体。目前世界各国的 SCUBA 上使用的一级减压器基本上有两种形式:活塞式(图 8-20)和膜片式。它们的工作原理基本一样,只是传递作用力的敏感件不同。



(a) 不平衡活塞式一级减压器

1. 高压弹簧; 2. 环境压力; 3. 中压腔室; 4. 阀头  
5. 高压气体; 6. 至二级减压器; 7. 不平衡活塞



(b) 平衡活塞式一级减压器

1. 至二级减压器; 2. 中压腔室; 3. 高压弹簧; 4. 环境压力;  
5. 高压腔室; 6. 阀头; 7. 高压气体; 8. 平衡活塞

图 8-20 活塞式一级减压器工作原理示意图

活塞式减压器是通过活塞的前后移动来实现减压;而膜片式减压器是通过膜片的凸凹变化来实现减压。这两种形式的供气调节器各有所长:膜片式减压器加工要求不高,性能稳定,故障较少,且输出压力可调,但橡胶制品容易老化,强度有限;活塞式减压器工作稳定可靠,供气流量较大,目前世界名牌装具大多采用这种形式,其缺点是加工要求较高,输出压力不可调节,活塞与缸壁之间的橡胶密封圈在老化变形后容易把活塞卡死,使减压器无法工作。

一级减压器接头(图 8-21)主要有两种形式:卡箍接头和螺纹接头。卡箍接头[图 8-21 (a)]按国际规格由轭环和紧固螺丝组成,最大工作压强为 23 MPa。螺纹接头[图 8-21 (b)]是将减压器与气瓶阀通过螺口连接,最大压强可达 30 MPa。目前,海军部队潜水装具普遍采用卡箍接头,少数采用螺纹接头。

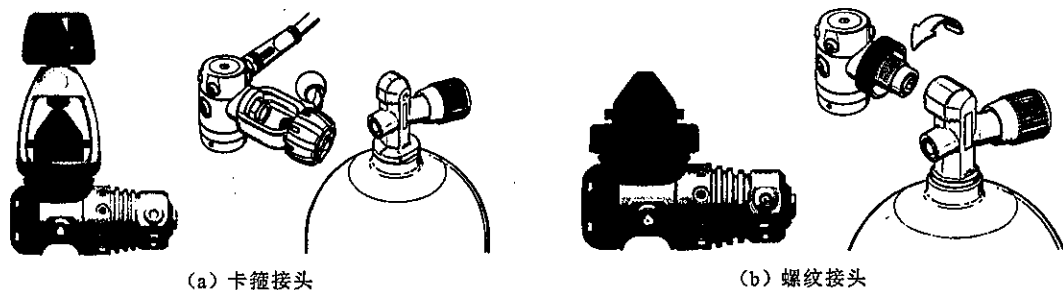


图 8-21 一级减压器接头

## 2. 二级减压器

二级减压器（调节器或供气阀）（图 8-22）的作用是将一级减压器输出的中压气再次减压，使潜水员在任一深度下人体内压与外部环境压力保持平衡。它可随着潜水深度和呼吸动作自动调节，在调节压力平衡的同时，又能根据人体需要调节供气流量，使潜水员在水下呼吸顺畅。

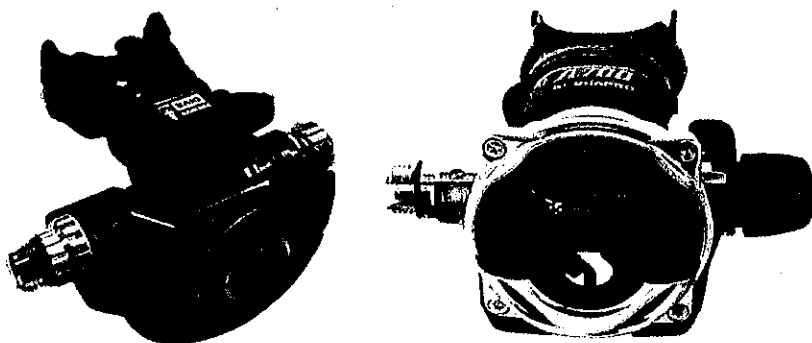


图 8-22 二级减压器

二级减压器都是通过敏感元件弹性膜片控制阀门，但阀门有两种：逆流阀和顺流阀。逆流阀阀门的关闭方向与气流方向相反。这种阀门装配和调试简单，气密性好，但是当一级减压器失灵、输出压强升高时，阀门会越压越紧，最终因压力过高使中压系统爆破。所以，逆流阀式二级减压器的中压系统要加安全阀。

SCUBA 的二级减压器一般采用顺流阀。顺流阀阀门的开关方向与气流方向一致。这样，一旦一级减压器失灵，输出压力升高至足以克服阀门背压弹簧的张力可自动打开阀门，起到安全阀的作用，从而保护中压系统。

二级减压器主要由弹性膜片、杠杆、弹簧、阀杆、排气单向阀、壳体和咬嘴等部件构成。弹性膜片将壳体内部分成两个部分，它的外侧直接与海水相通，受环境压力的影响，内侧为低压气室，通过咬嘴与人体相通。弹性膜片两侧的压差变化控制着二级减压器的供气和排气。在静态状况下，弹性膜片的两侧压强平衡，弹性膜片、阀门杠杆、排气单向阀均处于自然状态的位置，因此，二级减压器既不供气也不排气。当潜水员下潜或吸气时，由于下潜造成环境压强增大，吸气造成低压气室压强下降，膜片两侧失去平衡，膜片内陷压迫杠杆，驱动供气阀门开启，气体不断流入低压气室，以减少膜片两侧压差或供潜水员呼吸用气。当潜水员上升或呼气时，环境压强降低或低压气室压强升高，使弹性膜片向外凸起，杠杆复位，供气

阀关闭。由于低压气室压强增大，迫使排气单向阀开启，使多余的气体排入水中。

二级减压器的供气性能可以调节至最佳工作状态，即不自动供气，吸气阻力又最小。

### 3. 备用呼吸器

备用呼吸器（图 8-23）有的直接与一级减压器连接，有的直接与浮力背心连接。可供潜水员本人呼吸备用，也可用作援救他人，其工作原理与二级减压器相同。

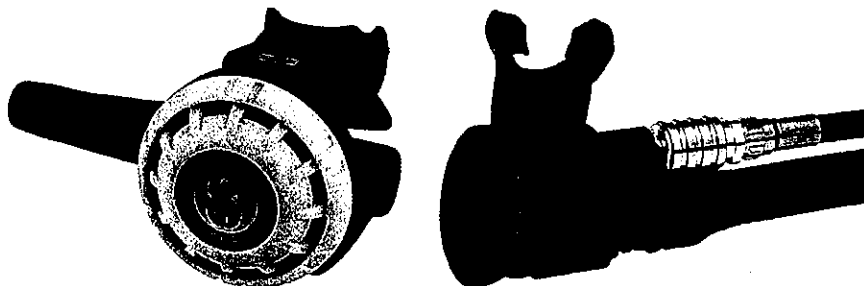


图 8-23 备用呼吸器

### （三）面罩

SCUBA 面罩（图 8-24）与 69-4 型潜水装具面罩基本相同，有半面罩[图 8-24（a）]和全面罩[图 8-24（b）]两种。日常训练和任务中通常采用半面罩（眼鼻罩）；在特种水下作战中为了进行水下通信，也可采用全面罩。



图 8-24 面罩

有的面罩配单向清除阀，有助于清除面罩内积水。有的面罩还配有鼻夹，可供下潜阶段潜水员堵塞鼻孔，平衡中耳气压。对需要佩戴眼镜的潜水员，有专门能安装镜片的面罩。因为普通玻璃碎后容易伤害潜水员，塑料容易雾化和出现划痕，所以潜水员不能使用普通玻璃和塑料镜片，只能使用特殊的防爆玻璃镜片。

### （四）潜水服

SCUBA 潜水服分为干式潜水服[图 8-25（a）]和湿式潜水服[图 8-25（b）]两种。新引进的 SCUBA 在材质面料和制造工艺上都有很大进步，潜水员穿着后水下灵活性明显增强，保暖效果好，舒适度强。

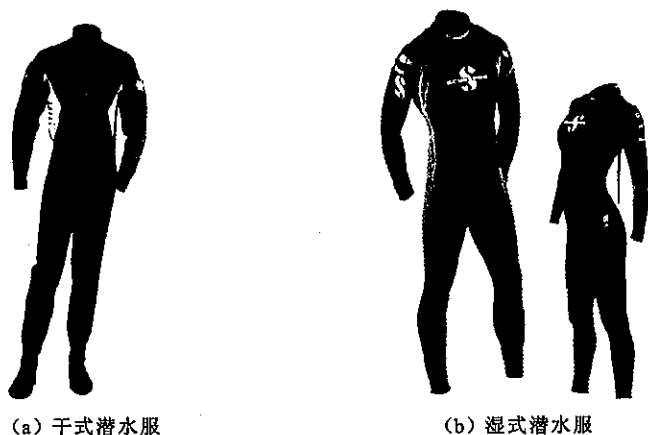


图 8-25 潜水服

(1) 干式潜水服。干式潜水服用 5 mm 氯丁胶外层贴合特殊布料制作。胸前和手臂装有排气阀，颈部和手腕部分采用柔软且具有伸缩弹性的光面皮料密封。膝盖处粘贴防弹布护膝保护，耐磨耐用。脚部为加硫防水靴。后背采用防水拉链，方便潜水员穿脱。干式潜水服适合水温 10℃ 以下使用，在潜水服内还可穿保温服。

(2) 湿式潜水服。湿式潜水服用 3 mm 双面尼龙布料做成，普遍采用连体式。袖口及裤脚均有拉链，穿着方便容易；背部从腰际到颈后部有一条拉链，便于潜水员自行着卸装；膝盖部分用耐磨衬垫强化保护。

### (五) 浮力背心/浮力补偿装置

浮力背心/浮力补偿装置 (buoyancy compensation device, BCD) (图 8-26) 的主要作用是



图 8-26 浮力背心

在水底潜水时将气瓶内气体充入浮力背心，给潜水员提供正浮力，帮助潜水员调节自身浮力，有效控制身体在水中上下移动。当潜水员浮出水面时，还可使潜水员浮于水面休息，充当救生衣。

浮力背心由高品质单面尼龙与耐磨尼龙布材质压合而成。气囊均匀分配受力，并设计有排气安全阀。当气囊内气体压强过大时，可通过排气安全阀进行排气保持浮力平衡（上升过程中压强减小，浮力增加），以免气囊体积膨胀过大，产生失控甚至发生放漂等意外事故。背部气囊引向前胸左侧有一充排气管，可通过中压软管与充排气阀实现快速连接。按下充气按钮时，可通过气瓶向浮力背心充气，也可通过充排气阀上的咬嘴由潜水员向气囊内吹气以充满气囊。按下排气按钮时，可排出气囊内气体。

浮力背心左右两侧的背带及腰带为快插卸扣连接，肩部、背部及腰带充填高发泡海绵缓冲垫，穿着舒适方便。背带上多个不锈钢环和尼龙环，可携带手电筒、相机等附属配件。背后为新型不锈钢快速束瓶带扣，既可完成快速固定气瓶，又可有效防止气瓶脱落。两侧有两个压铅包，潜水时可根据需要配备一定重量的压铅。

## （六）压铅和压铅带

自携式水下呼吸器潜水装具设计水下浮力接近于零。气瓶气量充足时，可能有轻微负浮力；随着压缩空气逐渐被消耗，压缩空气的重量逐渐减少，可能会有很小的正浮力。大多数潜水员身体有正浮力，需要额外增加重量才能达到零浮力或轻微负浮力。这些额外重量就由压铅（图 8-27）提供，压铅的重量有 1 kg、1.5 kg、2 kg、2.5 kg 4 种规格。潜水员应根据自身特点、水流大小、任务性质等因素选择压铅类型和数量。压铅可以直接分放于浮力背心两侧压铅袋内，也可用压铅带（图 8-28）将几块压铅连接成压铅条。



图 8-27 压铅



图 8-28 压铅带

压铅带由 5 cm 宽强力尼龙带与不锈钢快卸扣制成。压铅带必须符合以下基本标准：带扣卸除方便，适合双手操作；压铅边缘光滑，以免割伤潜水员皮肤或潜水服；压铅带应采用尼龙等防腐防霉材料。压铅用压铅带捆在所有装具最外层，以方便应急情况解下丢弃。

## （七）脚蹼

脚蹼（图 8-29）可以节省潜水员的体能，提高水下游泳速度，扩大作业范围，提高水下作业效率。脚蹼的材料和类型多种多样，材料、叶片尺寸和构造都会影响脚蹼的功效。如果腿部力量允许，尽量选用大叶片脚蹼，叶片大更有利于发挥脚蹼的功效。



（a）套式脚蹼



（b）带扣式脚蹼

图 8-29 脚蹼

## （八）潜水鞋

潜水鞋（图 8-30）是配合湿式潜水服使用的。在穿湿式潜水服而不便使用脚蹼进行水域潜水作业，或使用带扣式脚蹼时，均可根据需要穿着潜水鞋。

## （九）潜水袜

潜水袜（图 8-31）通常是在水温较低时配合潜水鞋使用。潜水袜外层采用 3 mm 双面尼



龙，内层由特殊材质制成，底部呈六角蜂窝状，增加防滑效果，颜色一般为黑色。



图 8-30 潜水鞋



图 8-31 潜水袜

### (十) 潜水手表

潜水手表必须防水防压，表盘外应装有可旋转的计时圈，用来记录潜水时间。夜光表盘和大数字非常重要，便于潜水员在混浊的水下观察潜水时间。

### (十一) 潜水用表

潜水用表（图 8-32）主要有单表、两联表和三联表等，主要集合高压表（测量气瓶内压力）、指北针及水深表等功能。水深表能显示潜水员所处深度的静水压，可换算成海水深度的直接读数。水深表必须能用于可见度低的水下环境条件。水深的精确测量对潜水员安全很重要，水深表灵敏度的要求很高，需要小心操作。使用前应按照保养系统的要求检查水深表的准确性，可将水深表放到已知水深处检查其准确性，也可放进加压舱或压力测试舱做深度对照检查。



(a) 单表



(b) 两联表



(c) 三联表

图 8-32 潜水用表

### (十二) 潜水刀

潜水刀的种类很多。执行爆炸物处置等特殊任务，或在磁性引爆装置的爆炸物附近潜水时应使用消磁潜水刀。潜水刀片应该防腐，并采用塑料、硬橡胶或木质刀柄。不能使用软木或骨质刀柄，因为这些材料很容易被海水浸蚀，而且软木刀柄浮力大，会使潜水刀浮出水面。潜水刀分单刃、双刃两种，最常用的是一边有锐刃、另一边有锯齿的双刃刀。刀刃必须保持锐利。潜水刀必须放于刀鞘内，刀鞘可佩戴在潜水员的逃生背心、臀部、大腿或小腿等部位，必须易于拿取，不妨碍身体活动，不能佩戴在容易缠结的部位。

### (十三) 呼吸管

使用呼吸管，潜水员不需要 SCUBA 供气就可在水面上进行较浅深度的水下搜索。

#### (十四) 信号绳

信号绳(图 8-33)是潜水员与水面保障人员相互联系的纽带,也是轻潜水作业中水下潜水员的安全保障绳索。另外,在激流或能见度差的水域作业时,为防止潜水员彼此之间走失,失去联系,可在结伴潜水员之间系上一根联络绳(没有特备的,可用信号绳截取一小段,长度为 3~5 m,也可根据实际作业情况自定绳索类型和长度)。作业中使用的信号绳必须牢固,浮力为中性或具有负浮力。



图 8-33 信号绳及浮标

#### (十五) 指南针

指南针通常用于水下导向。这种指南针不一定非常精确,但是在能见度很差的水下非常有价值。

### 三、使用方法

SCUBA 的使用方法与 69-4 型潜水装具大致相同,本节重点介绍操作使用中与 69-4 型潜水装具不同之处,其他未介绍部分请参照“69-4 型潜水装具的使用方法”执行。

#### (一) 装具准备与检查

##### 1. 气瓶

气瓶的准备和检查过程与 69-4 型潜水装具气瓶方法基本相同,区别是 SCUBA 气瓶采用三联表检测气瓶内剩余气体,无信号阀报警装置的气瓶无须对信号阀进行检查。

##### 2. 浮力背心

浮力背心的检查包括气瓶固定检查和气密性检查。将背架上的固定带从气瓶阀上端套入,背架与气瓶上端高度接近时收紧固定带,并利用固定带上的压扣将气瓶锁紧,使气瓶与浮力背心非常牢固地连接成一体。将浮力背心与充气管连接。潜水员可通过充排气阀上的咬嘴向气囊内吹气,或通过气瓶向背心内供气检查有无漏气。由于气囊内存在大量  $\text{CO}_2$  气体,排出背心气囊内残余气体时,禁止采用嘴吸的方式。

根据作业区域水流大小、任务性质、个人体型和潜水习惯，可在浮力背心两侧压铅袋内携带适量压铅。

### 3. 供气调节器

检查供气调节器有无锈蚀、碰撞和损坏，检查所有橡胶部件有无老化或破损，并清洗呼吸咬嘴。根据 SCUBA 供气调节器不同的连接方式与气瓶阀进行连接检测。

(1) 卡箍接头。确认一级减压器接口部位无灰尘或杂物后，将其连接到气瓶头上，确保接触面位置正确，然后拧紧轭环固定螺丝。为舒适起见，一般连接一级减压器和二级减压器的中压软管应水平正向靠于潜水员的右肩。

(2) 螺纹接头。确认一级减压器接口无灰尘或者杂物后，把一级减压器拧到气瓶头上。用手轮拧一级减压器时，要确保一级减压器和气瓶头的螺纹规格一致并且不要使螺纹错扣。一般连接一级减压器和二级减压器的中压软管应水平正向靠于潜水员的右肩。

进行真空漏气测试。关闭气瓶阀，慢慢从二级减压器吸气。这时应该产生一个小负压，没有任何气体进入系统。依次对连接到该一级减压器上的所有二级减压器进行漏气测试。

完全打开瓶阀，然后回转 1/4 圈，使中压软管和压力表接通并达到平衡。根据空气流出的声音判断供气调节器是否漏气。现场杂音较多时，可把瓶阀和供气调节器打开浸入水中，在水中进行气密检查。常见的漏气是因为供气调节器的密封不好，纠正方法是关闭阀门，排出供气调节器内气体，将供气调节器拆下，重新安装，如果“O”形垫圈漏气，重新安装仍无法排除，应更换“O”形垫圈，并重新检查气密性。

确认气密良好后，用手按压二级减压器手动供气按钮，通过手动供气检查供气调节器的供气情况，也可采用咬嘴直接呼吸，体会供气是否顺畅。

### (二) 着装

装具检查准备完毕后，根据潜水作业和训练情况准备相关附属器材，潜水员在信号员的配合下进行着装。着装顺序如下。

(1) 潜水员穿好潜水服（视水温选择干式潜水服或湿式潜水服）。

(2) 信号员帮助潜水员系信号绳（用单套结系于潜水员腰部）。

(3) 根据现场水流大小及任务性质预估浮力。背心内压铅不够时，酌情增加压铅，并使压铅带处于快速卸脱状态。

(4) 穿上脚蹼，佩带潜水刀。

(5) 穿戴 SCUBA。再次确认气瓶阀完全打开。在信号员的帮助下，将固定好气瓶的浮力背心穿在潜水员背部中央，位置尽可能高些，但不能超过头部，以免影响头部转动。拉紧所有背带，使气瓶紧紧贴于身上。

(6) 按压浮力背心上充气阀（或用嘴吹气）为浮力背心少量充气，检测气囊供排气情况。

(7) 潜水员戴上咬嘴或全面罩进行呼吸，检测供气调节器工作是否正常。

(8) 潜水员着装完毕，信号员检查确认无误后，向现场指挥员请示入水下潜。

(9) 现场指挥员应对着装情况进行一次全面检查, 确认无误后方可指挥潜水员下潜。

### (三) 其他事项

潜水员在入水、水面停留、下潜、水底停留过程中, 应注意通过浮力背心控制好自身的浮力和下潜上升的速度, 防止潜水事故发生。如果采用前跨步方式入水, 浮力背心的充气量不宜太大, 防止下跌深度大导致浮力袋受损。下潜时, 将浮力背心的控制器举起, 按压排气阀排出气囊内气体缓缓下潜。当水没入至控制器下沿时, 松开控制器, 拉动浮力背心上的微调排气阀排气下潜, 水下的充气 and 排气采用“点动”方式, 防止用力过猛, 误使浮力背心快速充气或排气, 导致潜水员发生放漂或坠落事故。

## 第三节 潜水装具使用方法

潜水员在进行潜水作业和潜水训练时, 应严格按照着装前的准备和检查、着装、入水和潜水等步骤进行, 以确保潜水作业的顺利进行和潜水员的生命安全。

### 一、着装前的准备和检查

为使装具经常处于良好备便状态, 应对装具主要部件性能进行检测调试和全面检查, 为着装做好准备, 这是保证潜水员水下安全的重要前提。

#### (一) 压缩空气瓶

(1) 空气瓶应符合使用年限。

(2) 检查有无铁锈、裂缝、凹凸或其他缺陷或故障。

(3) 检查气瓶出口是否有“O”形垫圈, 如没有则及时装上, 如发现有损坏现象则及时更换, 以免密封性能不好。

(4) 检查气瓶背架与气瓶连接的位置是否合适, 连接是否牢固稳定。

(5) 根据个人体形调整好背带、裆带长度。

(6) 检查信号阀拉杆是否灵活, 并将信号阀拉杆置于“工作”位置。

(7) 使用专用压强表测量气瓶压强。将专用压强表连接在气瓶的出口处, 关闭压强表上的泄压阀, 打开气瓶阀, 观察压强表上的指示压强即为所测得气瓶压强。压力测量结束后, 应关闭气瓶阀, 打开泄压阀, 卸下压强表。

潜水作业时, 气瓶压强不应低于 15 MPa。气瓶压强不够时, 应及时对气瓶进行充气, 气源必须用纯净标准的压缩空气。给气瓶充气的常用方法有两种: 一种是阶式充气法, 即从大型气瓶组给自携式气瓶充气, 特点是快速高效; 另一种是高压空压机充气法, 使用高压空压机直接对气瓶进行充气, 不经大型气瓶组冷却过滤。

充气时应将高压气源(高压空压机)输出软管连接在气瓶的出口处, 将信号阀处于解除位置(信号杆下拉), 关闭高压气源管路上的泄压阀, 打开气瓶阀和高压气源输出阀, 此时应能听到十分清晰的气体流动声音, 待声音停止时, 说明气瓶气体已经充满。充气结束后, 关

闭气瓶阀和高压气源输出阀，打开高压气源管路上的泄压阀，卸下高压气源（高压空压机）输出软管。

## （二）水下工作时间估算

（1）潜水员常压下用气量。人在正常情况下安静地呼吸时，每次吸入或呼出的气量约为 0.5 L，每分钟呼吸次数约为 16 次，每分钟吸入气量约为 8 L。正常人慢速行走时的肺通气量（单位时间内出入肺的气体总量）约为 14 L/min，中速行走时的肺通气量约为 28 L/min，跑步时肺通气量约为 100 L/min。人体根据体力负荷的不同而不断调节肺气量，以便使机体组织获得足够的氧。

自携式潜水供气量实际上是计算气瓶内一定气体所能维持潜水员在水下某一深度的“水下工作时间”。

（2）确定常压用气量。常压用气量指穿戴该类装具的潜水员在常压下每分钟消耗的空气量，这是用于估算水下可用时间的基本参数。每个潜水员因身高、体重不同，常压用气量也有所差别。因此，每个潜水员都应总结出自己常压用气量的经验值。通常，潜水员的每分钟常压用气量为 16~36 L。在水下的用气量会比常压下大些，还会随潜水深度波动、作业熟练程度、劳动强度及水温等因素而有较大变化。

测定方法：测定所用装具瓶内气压，被测潜水员穿上装具步行 10 min，卸下装具，再次测定瓶内气压；测定前后压差与气瓶容积的乘积除以 10 即为该潜水员的常压用气量（L/min）。

$$\text{常压用气量 (L/min)} = \frac{\text{气瓶容积 (12 L)} \times \text{着装前后瓶内压差 (MPa)}}{10 \text{ min}}$$

（3）计算水下可用时间。水下可用时间是指使用空气自携式装具潜水时，气瓶气压从入水时的压强下降到规定储备压所经过的时间：

$$\text{水下可用时间 (min)} = \frac{\text{气瓶容积 (12 L)} \times (\text{瓶压} - \text{规定储备压})}{\text{常压用气量 (L/min)} \times \text{水深绝对压}}$$

以常用的 12 L、工作压力 20.0 MPa（201 atm）的自携式气瓶为例，信号阀指示压（即规定储备压）为 3.5 MPa（36 atm），根据公式计算出 18 L、24 L、30 L 常压用气量时 40 m 以浅的停留时间，见表 8-1。

〔例〕采用自携式潜水装具潜水，下水前测得气体压力为 15 MPa，常压用气量为 25 L/min 的潜水员计划在 20 m 水深潜水训练，该潜水员在水下可潜水的时间为多少？

解：

$$\text{水下可用时间 (min)} = \frac{\text{气瓶容积 (12 L)} \times (\text{瓶压} - \text{规定储备压})}{\text{常压用气量 (L/min)} \times \text{水深绝对压}}$$

$$\text{代入公式：} \quad t = \frac{12 \times (15 - 3.5)}{25 \times (0.1 + 20/100)} = 18.4 \text{ min}$$

答：该潜水员水下可潜时间为 18.4 min。

表 8-1 不同深度自携式潜水不减压时间及气瓶允许的最长停留时间

潜水深度/m	水下停留时间/min			不减压时间/min
	用气量 30 L	用气量 24 L	用气量 18 L	
12	30	37	50	200
15	26	33	44	100
18	23	29	39	60
21	21	26	35	50
24	19	24	32	40
27	17	22	<u>29</u>	30
30	16	20	<u>27</u>	25
33	15	<u>19</u>	25	20
36	<u>14</u>	17	23	15
39	13	16	22	10
42	12	15	20	10

### (三) 供气调节器

(1) 卸下一级减压器上的防尘罩, 检查有无锈蚀和碰撞损坏, 查看中压软管有无变质和破裂。

(2) 检查二级减压器橡胶膜片有无老化或破损, 并清洗呼吸咬嘴。

(3) 将供气调节器连接在气瓶阀上, 打开气瓶阀, 检查各连接部位的气密性。

(4) 检查供气情况。用手按压橡胶外罩上的按钮, 检查供气情况是否畅通, 也可戴上咬嘴呼吸体会供气情况。

### (四) 面罩

(1) 检查面罩面窗玻璃有无破裂, 固定环是否锁紧, 调压装置是否水密灵活。

(2) 检查头带是否完好, 收紧和放松是否灵活。

(3) 检查橡胶部分有无老化变质, 与面部接触的软边唇是否变形。

表 8-1 中所列数值提示, 用气量少的潜水员或当潜水深度较大时, 都容易超过不减压极限(表中带下划线数值)。因为, 通常情况下轻潜水都应采用不减压潜水方式进行, 在实践中需要引起重视。

### (五) 潜水服

检查潜水服有无破损、粘边、老化、脱胶, 拉链是否灵活。

### (六) 脚蹼

检查脚蹼橡胶是否老化变质及断裂, 并试穿检查长度、大小及舒适度。

### （七）潜水刀

检查潜水刀刀是否锋利，刀鞘固定带是否完好；潜水刀固定于刀鞘里，确保取放潜水刀无障碍、不脱鞘。

### （八）压铅

检查压铅卡扣是否完好，压铅数量是否适宜，检查快速解脱扣是否灵活。

### （九）信号绳

检查信号绳及其他绳索是否霉烂变质，试验拉力是否符合要求，掌握信号绳的系法。

### （十）潜水手表

检查潜水手表有无损坏，时间是否准确。表带是否良好，旋转刻度表圈是否灵活。

### （十一）水深表和指南针

检查指南针是否良好，如有可能，对照其他指南针校正；水深表必须经过严格校准。

### （十二）其他器材

潜水作业和训练中必需的器材也要进行认真的准备和检查，如工具、备件、充气装置、绳索、闪光信号弹和其他器材等。

## 二、着装

装具检查准备完毕后，将供气调节器与气瓶连接，打开气瓶阀（气瓶阀拧开到底后回拧半圈），确保供气正常且气密良好，根据潜水作业和训练情况，准备相关附属器材，潜水员在信号员的配合下进行着装。

- （1）穿潜水服（视水温而定）。
- （2）用单套将信号绳结系于腰部）。
- （3）佩戴适量压铅，注意系带时应系活扣。
- （4）背上已连接好供气调节器的气瓶，固定好肩带、胸带、腰带及裆带。
- （5）戴面罩。
- （6）根据需要佩带潜水刀，穿着脚蹼或潜水鞋等。
- （7）着装结束后，信号员应再次进行认真的检查，并请示入水。

## 三、入水

自携式潜水中潜水员的入水方法有多种，新潜水员或在不熟悉的水域潜水时，可顺潜水梯下潜。经验丰富的潜水员在保证自身安全的前提下，可按作业现场的特点来选择。下面介绍自携式潜水的常用入水方法。

### （一）前跨步入水法

前跨步入水法也叫前跳法或迈入法（图 8-34），是最常见的入水法之一。采用这种方法的潜水员应面朝入水方向，站立在离水面不太高的平台、船舷或入水梯上，离水面高度最高不能超过 3 m。观察水面环境后，头略低，左手抓住气瓶，以免气瓶与后脑相撞，右手托住面罩和二级减压器。入水时，潜水员不应“跳”入水中，而是向前跨出一大步，使双腿分开。入水瞬间，潜水员应使上身稍向前倾，以防水的冲力使气瓶撞到潜水员的后脑。



图 8-34 前跨步入水法

### （二）后滚入水法

后滚入水法（图 8-35）条件和动作方法与前滚入水法相似，只是潜水员背对着入水方向，后滚翻入水中。从冲锋舟、快艇上入水时多采用这种方式。冲锋舟和快艇上的潜水员应相对而坐。听到指挥员的口令后，戴上面罩，相对的两名潜水员一手托住面罩，另一手护后脑（防止气瓶接触水面时减压器碰撞头部），上体后仰，背部着水，顺势翻滚，两脚朝下入水。

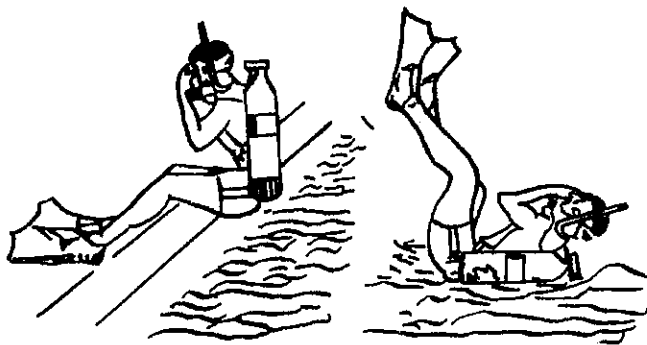


图 8-35 后滚入水法

### （三）后跳入水法

后跳入水法也叫退入法。一般是在潜水梯伸不到水中时使用，潜水员面对潜水梯，后退几级然后双脚蹬梯入水。

### （四）前滚入水法

前滚入水法使用较少。潜水员面对入水方向，坐在离水面不高的（不超过 1 m）平台或小艇边上，手的动作与前跨步入水法相同，身体尽量向外，保持重心平衡，身前倾收腹，头低下使下颚贴到胸部，然后前滚翻入水。

### （五）侧滚入水法

侧滚入水法条件和动作方法与前滚入水法相似，只是潜水员侧坐在平台或小艇舷边侧身沉入水中。



## （六）后退入水法

如果从海滩上入水，潜水员可根据海面情况和海底的坡底选择入水方法。例如，海面平静、坡度平缓，潜水员可以后退步入水中，直到可以游泳的深度再穿上脚蹼。如果海面波浪较大，潜水员应事先穿好脚蹼背向海浪退入波浪中，直到水深可以游泳时为止。

## （七）机降入水法

潜水员在登机前，应充分准备好所需器材。到达潜水区域上空，指挥员组织佩戴装具。

（1）水面悬停入水。飞机接近水面悬停时，潜水员双手护住面罩，双腿微弯并拢，从机舱侧门口或尾门按脚、体、头的顺序垂直跳入。悬停高度不应超过 2.5 m。

（2）高空悬停入水。当飞机距水面较高悬停时，潜水员应借助软梯或绳结慢慢接近水面。为防止软梯或绳结摆动过大，应抓紧软梯或绳结缓慢下降。当接近水面 1.5~2 m 时，双手协同护住面罩和头部垂直下水，视情况使用后滚入水法、后跳入水法入水（图 8-36）。

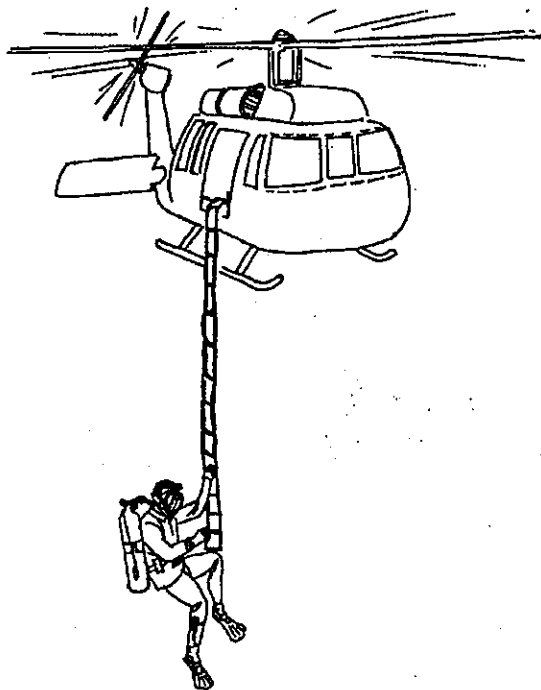


图 8-36 机降入水法

## 四、潜水

潜水员按规定程序着装入水后，应按水面停留、下潜、水底停留、上升出水 4 个步骤进行潜水训练或作业。

### （一）水面停留

潜水员入水后，当水刚刚淹没头部时，停止下潜，由信号员进一步检查潜水员所用装具

的气密情况，同时，潜水员在水面认真体会呼吸及供气情况，尽快适应水下环境。

(1) 水下检查呼吸器呼吸情况，呼吸应轻松无阻力，无漏水迹象。

(2) 协助潜水员检查装具有无漏气，特别注意各接头处（瓶阀与供气调节器、供气调节器和咬嘴连接处）气密性是否良好。

(3) 检查背带有无松动或绞缠。

(4) 检查面罩封口。

(5) 校正浮力，使用自携式水下呼吸器的潜水员应尽量调整好浮力，使其保持中性。如果携带装具过多或过重，会出现负浮力，这时应适当减少压铅。

(6) 如果潜水员穿干式潜水服，应检查气密性，按所需浮力调节潜水服的充气程度。

(7) 潜水员应利用指南针或其他参照物确定方位。

(8) 所有装具检查合格后，潜水员感觉呼吸及装具供气情况良好时举手示意，信号员确认装具气密性良好时，向潜水员发下潜信号（拉一下），提示潜水员可以下潜，潜水员在回复信号以后沿潜水梯或入水绳继续下潜。信号员开始记录潜水员的下潜时间。

## (二) 下潜

在初次进行潜水训练时，应沿潜水梯或入水绳下潜，在潜水员能够及时平衡中耳、鼻窦等压力的前提下，下潜速度通常控制在  $8\sim 10\text{ m/min}$ ，因此，潜水员在下潜过程中要掌握好调压时机和调压方法，正确的调压方法应该是边下潜边调压。可采用鼓鼻子或吞咽动作进行调压，保持均匀深长呼吸，禁止屏气。

下潜时，潜水员如感到耳痛或鼻旁窦痛应停止下潜，做吞咽、鼓鼻等调压动作。待疼痛消失后继续下潜。若无效果可上升  $1\sim 2\text{ m}$ ，继续做调压动作，否则应出水。潜水员在下潜过程中，还应注意面罩内调压，防止面部挤压伤发生。如果供气调节器有微量进水，潜水员应低头使供气调节器处于最低位置，然后用力呼气，水即从调节器排气孔排出。水下能见度较差时，潜水员下潜过程中一只手应伸向前方，以躲避障碍物。

## (三) 水底停留

潜水员到达水底后，应及时向水面发到底信号，即拉一下，信号员应及时回信号。潜水员保持均匀深长的呼吸，一般水下呼吸频率为  $18\text{ 次/min}$ 。

### 1. 面罩进水的处理

在潜水过程中，面罩进水是随时可能发生的。适量进水属于正常现象，它有助于面罩玻璃面窗除雾。当面罩进水超过一定量时，应将积水排出。具体方法如下。

(1) 安装排水阀的面罩排水。在进行面罩排水时，潜水员低头将面罩里的积水集中到单向阀附近，双手扶住面罩两侧，用鼻子往面罩里吹气，水就能从排气阀排出。



图 8-37 未安装排水阀的面罩排水方法

(2) 未安装排水阀的面罩排水（图 8-37）。潜水员头部应向后仰起，使水集中在面罩的

下部。潜水员用手紧紧按住面罩的上侧或用双手扶住面罩两侧，并用鼻子稳定地向面罩内吹气，水便从面罩的下方排出。如果一次不能将水全部排尽，可以多排几次，直至水完全排尽。

## 2. 呼吸器（咬嘴）的找寻与排水

潜水员在水下会因为一些意外而导致呼吸器咬嘴从口腔脱落进水，这是一件很正常的事情。只要经过正确的训练，对于自携式潜水员而言，寻找脱落的呼吸器并进行呼吸器排水是一件很容易的事情。

(1) 呼吸器找寻。呼吸器找寻通常采用横扫找寻法和后抓寻回法。横扫找寻法的动作要领是潜水员将自己的身体略向右倾斜，右手臂从后向前画一弧线，将中压软管收拢在臂弯里，然后顺着软管就可以找到呼吸器咬嘴。后抓寻回法的动作要领是潜水员将自己的身体略后倾，用左手托住气瓶底部，右手抓住气瓶阀上一级减压器，顺着连接一级减压器的中压软管向下一捋，就可以找到另一头的减压器咬嘴。

(2) 呼吸器排水。呼吸器脱落后，二级减压器将会进水，潜水员找寻到呼吸器后应及时排水再使用，一般采取吹除法和按压法排水。吹除法排水动作要领是潜水员含住呼吸器咬嘴，头略向下低，用嘴持续向外吹气，可将呼吸器内的积水吹出，然后再呼吸。按压法排水的动作要领是当潜水员在呼气结束后突然脱落时，潜水员应用口含住呼吸器，并按压呼吸器上的手动供气按钮，直至呼吸器内积水排出，然后再呼吸。

潜水员在水下注意收发信号，若感到头昏、头痛、出虚汗、四肢无力、恶心等症状，应通过信号报告水面并立即出水，初学者禁止随意摘掉面罩或解脱信号绳。

## (四) 上升出水

潜水员完成水下作业任务或接到出水信号（拉三下）后，潜水员应即时回复信号，清理

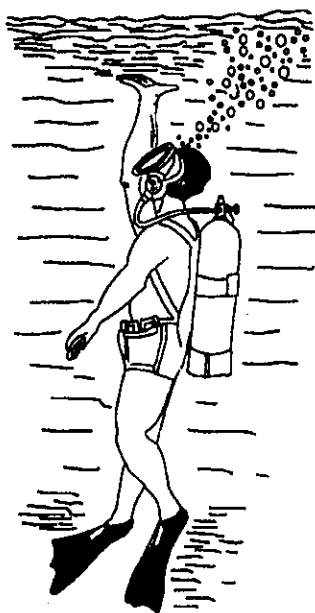


图 8-38 正确的上升出水姿势

作业现场和工具，整理信号绳，沿潜水梯或入水绳离底上升出水，上升速度一般控制在  $10\text{ m/min}$  左右。在上升过程中保持均匀深长呼吸，严禁屏气，以免发生肺气压伤。上升时应观察四周环境，在接近水面  $1\sim 2\text{ m}$  时，潜水员应将一只手举过头顶，以防头部被碰撞（图 8-38）。

潜水员浮在水面时，信号员和其他工作人员必须不断注视潜水员，特别要警惕有无事故信号和征兆。将一名潜水员拉上支援船时，不得忽视其他尚在水中的潜水员，只有所有潜水员安全登上船后，潜水才告结束。

潜水员解下压铅带和呼吸器后，上船比较容易。如果船边有舷梯，潜水员可以脱掉脚蹼上船；如果没有舷梯，潜水员可用脚蹼踩水产生较大推力，有助于潜水员上船；如果船很小，可根据船型和水面气候条件从船舷或船艏上船；当潜水员攀登小艇或冲锋舟时，

艇上其他人员应坐下以免落水。

当供气系统突然失灵或自携式水下呼吸器被纠缠,潜水员无法得到结伴潜水员的援救时,该潜水员必须采用应急自由上升,具体步骤如下。

(1) 丢掉手中的工具和装备。

(2) 快速解脱压铅带。

(3) 上升过程中呼吸器内剩余气体仍可利用,因此不到万不得已,不可轻易丢弃呼吸器。如果呼吸器被缠无法摆脱,必须丢弃时,丢弃呼吸器的方法是拉开腰带、胸带、肩带和裆带的快速解脱扣,先从一条肩带中脱出一只胳膊,然后将呼吸器从另一只胳膊上脱下。也可将自携式水下呼吸器从背部拖至头部,从下面脱出。丢弃呼吸器时应防止软管套在颈部。

(4) 如果因空气剩余不足需要应急上升,可通过解脱所有器材和压铅立即上升出水。

(5) 如果潜水员失去知觉不能自行出水,结伴潜水员直接带他上升很困难时,结伴潜水员可通过解脱遇险潜水员的压铅带以减轻负荷。结伴潜水员无论如何不得离开遇险潜水员。

(6) 上升时严禁屏气,保持正常呼吸,使肺内膨胀的气体自由排出。

潜水员出水(离开水面)后,在安全位置解开信号绳,卸下气瓶,关闭气瓶阀,并将供气调节器内的气体排出干净。潜水员应注意身体保暖,在1~2 h内不得远离加压舱,并接受潜水军医的观察。

## 第四节 潜水装具维护保养

潜水员负责对潜水装具的保养和维护。装具在每次使用后都必须清洗、晾干,单独存放于专用箱内,存放时橡胶制件不应置于受压位置。在运输和储存过程中应避免碰撞和激烈振动。

配发到舰艇上的装具应指定专人负责保管,并放在各舱室的指定位置,禁止装具接近油渍、酒精。潜水后的首项工作是检查和清洗装具,入库保存前,应将装具全部分解、擦洗、消毒、晾干,重新组装测试后,入库保存。潜水装具长期存放时,应放在干燥、空气流通的房间里,室内温度以5~25℃为宜,空气相对湿度应在40%~60%。存放在仓库里的装具每年至少应抽出10%~30%检查。分管人员应熟悉装具的维护保养。

### 一、空气瓶

(1) 按国家对高压容器管理与使用的各项规定,定期进行维护保养,一般每两年检验一次。

(2) 空气瓶必须专用,只允许充装压缩空气,禁止充填其他气体。

(3) 严禁擅自更改气瓶的各种标识。

(4) 高压气瓶禁止在烈日下曝晒和接近火源、高温,并防止碰撞。

(5) 每次使用后,应及时用干净淡水冲洗、晾干,油漆脱落应及时涂补,以防瓶壁生锈。

(6) 发现瓶口、阀门有故障时应及时修复或更换。拆卸瓶阀必须解除气瓶压力后方可进行。

(7) 空气瓶不使用期间, 气瓶内应保留 3 MPa 左右余压。

## 二、供气调节器

(1) 供气调节器各重要部件主要技术指标出厂前均已按标准要求调试好, 使用时应小心轻放, 不可粗暴乱扔, 不得随意拧动各调节螺丝。

(2) 供气调节器使用结束后, 应及时用淡水冲洗, 如有泥沙、脏物进入调节器内, 应用清水洗净吹干。

(3) 应用纱布块或塑料布将二级减压器包扎好, 防止异物进入导致使用时进水。

(4) 供气调节器长期不使用时, 应将供气调节器从装具上卸下, 将防尘盖装好, 防止杂物进入一级减压器高压输入端, 造成气路堵塞。

(5) 供气调节器内的橡胶弹性膜长期不用时应涂抹滑石粉, 防止橡胶老化变质影响性能。

## 三、面罩

(1) 面罩使用后, 应用清水洗净、晾干。

(2) 面罩放置时, 不要受挤压, 应防止橡胶部分变形, 影响使用时的水密性。

(3) 长期不使用的面罩, 应在橡胶部分涂抹滑石粉, 防止橡胶老化变质。

## 四、潜水服

(1) 长期不使用的潜水服应折叠放在规定位置, 不应受挤压而变形, 并定期展开查看。

(2) 潜水服在海水中使用后应用淡水洗净晾干。

## 五、脚蹼

脚蹼长期不用时应涂抹滑石粉, 在海水中使用后用淡水冲洗晾干。

## 六、常见故障及排除方法

自携式空气潜水装具常见故障现象为漏气、呼吸阻力增大、供气压力值改变。潜水员应该了解这些故障产生的原因及排除故障的方法。现将自携式空气潜水装具易发生的故障现象、原因及排除方法归类如下(表 8-2)。

表 8-2 装具可能发生的故障及排除方法

故障现象	故障原因	排除方法
气瓶阀打开时漏气	1. 手轮未旋至尽头 2. 手轮轴密封圈密封不良或损坏 3. 出口“O”形圈损坏或脱落	1. 将手轮旋至尽头 2. 拆下重新装配或更换新的密封圈 3. 更换或装配“O”形圈
气瓶阀关闭后仍然漏气	阀头损坏	更换阀头
部件之间接头漏气	1. 接头螺丝未上紧 2. 密封圈失落或密封脂干枯	1. 上紧接头 2. 装配相应的密封圈或在“O”形圈上涂密封脂
二级减压器不能自动关闭 或漏气	1. 二级减压器调节螺杆失调 2. 一级减压器输出压力过高	1. 重新调节螺杆, 使其停止供气并吸气阻力最小 2. 调节一级减压器使其达到规定的输出压力
清洗二级减压器时, 二级 减压器自动供气不止	壳体内产生负压, 使弹性膜不能复位	用手堵住二级减压器的所有出气口供气即可停止
一级减压器输出压力无限 制缓慢上升	1. 一级减压器的高压阀不能自动关闭 2. 阀杆填料损坏 3. 有杂质颗粒混入高压阀门处	1. 更换新的阀杆 2. 清洗高压阀门 3. 返厂维修
呼吸器供气不足	1. 气瓶压力过低 2. 气瓶阀没有全部打开 3. 供气调节器失灵	1. 充气再用 2. 打开气瓶阀 3. 分别检查一级减压器和二级减压器, 必要时应进行更换
吸气阻力过大	1. 二级减压器调节螺杆失调 2. 一级减压器输出压力过低 3. 二级减压器弹性膜与弹性罩粘连	1. 调节二级减压器调节螺杆, 使其处于最佳工作位置 2. 调节一级减压器输出压力达到规定值 3. 将二级减压器浸泡在水中, 并不断按压手动供气按钮
二级减压器自动供气	1. 二级减压器自动供气 2. 排气膜片与壳体间粘连	1. 调节二级减压器调节螺杆停止自动供气 2. 将二级减压器浸泡在水中片刻

## 思考题

1. 69-4 型潜水装具的组成和工作原理是什么?
2. SCUBA 的组成和工作原理是什么?
3. 自携式潜水装具的操作使用方法和注意事项有哪些?
4. 自携式潜水装具的主要故障及排除故障的方法有哪些?