

潛水常識-大氣壓力

作者：王勝源

空氣是大量氣體的混合物，與潛水有關係的只有二種重要成份，一為氧氣（oxygen），一為氮氣（nitrogen）。如果忽略其他極少量的二氧化碳和稀有氣體，空氣中則含有 20% 的氧氣和 80% 的氮氣

將一個籃球從水面上移至水下十公尺處，它的大小將縮小為原來的 $\frac{1}{2}$ ，那是因為籃球是個可壓縮性的物體，隨著壓力的增加，體積就相對的減少。在水中，每下降十公尺就增加一倍的大氣壓力，任何可壓縮性的物體其體積就會減為原來的 $\frac{1}{2}$ 。若人體也是個可壓縮性的物體，那麼當他潛水至十公尺的水深處時，整個人就應該縮小為原來的 $\frac{1}{2}$ ，潛水至廿公尺處就縮小為原來的 $\frac{1}{3}$ ，如此下去，童話世界中的小人國就會變成真的了。

幸好，人並非是可壓縮性的物體，人體的組織大部分由固體或液體所組成不可壓縮性，壓力的增加不會改變其原有的體積。但人體也並非完全的是不可壓縮性，人體的呼吸系統充滿了氣體就是人體可壓縮性的部分。以肺臟而言，在水下十公尺處，它的大小就縮小了一半。肺臟裏面，氣體壓力的增加，造成肺細胞體積的減少，這些物理現象的改變就造成了一連串的複雜的生理變化。

一、壓力

壓力可以很簡單的定義為物體單位面積所承受的力量，在英制系統是以每平方英寸所受到的磅數重（1b/in²，簡 p.s.i），公制系統是以每平方公分所受到的公斤重（kg/cm²）為測量單位。可表示為：

$$P = F \div A$$

其中 P = 壓力（Pressure） kg/cm² （1bs/in²）

F = 外力（Force） kg （1bs）

A = 面積（Area） cm² （in²）

二、海水壓力

潛水員在水平面所受到的壓力大約是 15psi，這個壓力是來自於大氣中的壓力（1atm = 15psi）。當他位於水中 33 英尺的深度，所受到的壓力從一個大氣壓變為二個大氣壓，因此，很明顯地，在水中每增加 33 英尺，壓力則增加一大氣壓。

深度	身體所受的壓力	大氣壓力
水平面	15psi（1atm = 1bar）	1 大氣壓力
33 英尺（10 公尺）	30psi（2atm = 2bar）	2 大氣壓力
66 英尺（20 公尺）	45psi（3atm = 3bar）	3 大氣壓力
99 英尺（30 公尺）	60psi（4atm = 4bar）	4 大氣壓力

三、波啟耳（Boyle's）定律

波啟耳定律說明，在一定的溫度之下，氣體的體積和絕對壓力成反比，和密度成正比，可表示為

$$PV = K$$

其中 P = 絕對壓力

V = 體積

K = 常數

在潛水時，由於海水壓力隨海水深度之增加而增加，則任何一可壓縮性的物體，例如籃球、或人體之肺臟，其體積則隨著比例而縮小。

有關於壓力的疾病

減壓（Decompression）和減壓病（Decompression Sickness）

潛水員潛水時，他必須呼吸混合氣（空氣、氮氧混合氣、氦氧混合氣），而僅有氧氣供他的身體使用，惰性氣體（氮、氦）將經由肺、血液的流動被身體的組織吸收。當潛水員回升至水面上，他身上所受的壓力會降低，他體內的惰性氣體會從組織中回到血液、肺部，再排出體外，如果在他回升過程是在控制中慢慢的回升，潛水員不會有事情，如果回升速度很快，則組織內的惰性氣體很快的形成氣泡進入血液而不能經由肺部排出體外，這些氣泡經血液的流動迅速的擴散到全身，此時，潛水員就會得到減壓病，即俗稱的潛水病。當氣泡阻塞血管影響血液供應氧氣到腦部時，症狀發生後往往使人變成殘廢或死亡。減壓病唯一治療的方法是立即對患者實施增壓。

為了預防減壓病的產生，可藉壓力的降低速率的控制，如此，便可防止氣泡在血液中形成。當潛水員從水下回升到水面上時，他必須控制回升的速率，並在回升一段距離時，作暫停的程序。若是工作船上有減壓艙的設備，潛水員可以直接從水下回升至水面，再立即送進減壓艙實施緩慢的減壓，這過程就叫做減壓（Decompression），如果壓病的症狀已產生，這過程就叫做治療性的減壓（Therapeutic Decompression）。

呼吸氣體的失調

所有潛水人員必須經常警覺以下的徵兆：

氧氣不足（Hypoxia）、二氧化碳中毒（Hypercapnia）、氧氣中毒、氮醉和呼吸困難症。

一、氧氣不足（Hypoxia）

氧氣不足是由於呼吸氣體的中斷，應立即儘速取得氣體來源或者更換另一種氣體供應。

氧氣不足是由於一種低氧含量在呼吸氣體中使患者因而神智昏迷不清而事前卻無任何警告徵兆。這些症狀應以下列方法處置：

- 1.更換不同氣體的供應，此氣體包括足夠的氧氣。
- 2.如果潛水人員毫無知覺或者語無倫次，轉換 100% 氧氣（如果可能的話）當 40fsw 或呼吸更短促。
- 3.在海面上使用 100% 的氧氣。

由於氧氣不足的第一個症狀可能是不省人事，這是很難以把它和大動脈氣栓症區分不同點。無論如何，將潛水人員以大動脈氣栓症來處理也可以治療氧氣不足現象。

二、一氧化碳中毒（Carbon Monoxide Poisoning）

由於實際的需要，一氧化碳中毒引起血氧不足應被處以呼吸氣體是低氧含量相同的治療方法。潛水人員罹患一氧化碳中毒（CO）的早期徵兆是一頭痛、噁心、嘔吐一能把他們帶上水面給予 100% 的氧氣治療。潛水人員有了神經系統方面的症狀或是他們出了水面失去知覺將被以大動脈氣栓症處理，因為診斷一氧化碳中毒需要實驗室的測驗，這是很花時間的，而

在實際情形無法考慮到。還有在治療過程中的高氧氣體連貫壓力也會使得一氧化碳中毒。如果任何病案懷疑是一氧化碳中毒，被懷疑的呼吸氣體來源應該被隔離，而這些氣體樣本應立即儘速被送出做實驗分析。

三、二氧化碳中毒（Carbon Dioxide Intoxication）

二氧化碳中毒的發生，可以因為氧氣不足而引起，也可以不因為氧氣不足而發生，潛水人員所戴頭盔管路通氣不良、憋氣太久、悶氣過長，或是裝備上太多的死角（例如 SCUBA）都能夠引起二氧化碳中毒。在一些封閉式迴路和半封閉式迴路的呼吸儀器中忘了添加或用盡了二氧化碳的附吸物也會使得所使用的呼吸氣體產生二氧化碳中毒。在有些情況下氧氣的部份壓力高過 0.5atm，呼吸變得短促是和二氧化碳中毒有關連，但卻不會像在低氧部份壓力下一樣的嚴重。在這些情況下，尤其潛水人員呼吸很吃力，可能在沒有預警下就昏亂了，甚至在昏迷不省人事之前還有點欣快症。

二氧化碳中毒的處理法是減低所吸入的二氧化碳：

- 1.增加頭盔的通氣。
- 2.吸氣力量減小。
- 3.更換呼吸儀器。
- 4.中止潛水，如果是裝備儀器損壞為主因。

四、氧氣中毒（Oxygen Toxicity）

在水中的潛水活動中，氧氣的致毒性最重要而受到影響的是中樞神經系統（The Central Nervous Systems），簡稱（CNS）。肺部的氧氣中毒，僅發生長久曝露於氧氣中，例如以氧氣加壓治療。

中樞神經系統中毒通常不容易遇到，除非氧氣部份壓力（Po₂）超過 1.6 大氣壓（atm）。警告徵兆包括：

在潛水人員所知範圍內，如果他認為他有氧氣中毒的徵兆，他應該通知潛水主管，這個主管應立即採取行動減低氧氣部份壓力。這些行動包括：

- 1.減少潛水深度 10 英尺。
- 2.不再使用 100% 氧氣，而換氣使用水下呼吸儀器（UBA）混以低氧的氣體，包括部份壓力低於 1.0 大氣壓 atm。那些仍以 100% 氧氣游水的潛水人員應該警告他們的潛水夥伴浮出水面（如果可能的話）。

五、氮醉（Nitrogen Narcosis）

最有效的方法來抵制氮醉的影響，就是減低氮氣的部份壓力。明確的做到以下二點：

•

0

- 視覺：任何的異物感，譬如“視野狹窄症”（Tunnel Vision）（正常視野的緊縮，好像從小管外看）
- 耳朵：任何不正常的聲音，尤其是鈴響或吼叫聲。
- 噁心：這可能有間歇性的。
- 痙攣：最初通常發生於唇上或其他臉部肌肉。這是最普通也是最清楚的氧氣中毒警告。
- 易怒暴躁：行為上的任何改變，包括焦慮不安或混亂。
- 頭昏目眩。

六、呼吸困難症（Dyspnea）

在深度下呼吸氣體所增加的密度，配合大力呼氣，可能會導致呼吸困難，使得有些潛水人員變得驚慌而呼吸更短促。呼吸困難症大都和二氧化碳在體內增加有關連性，但是有些情況下也可能和二氧化碳無關係。當呼吸困難症發生，潛水人員必須停止活動到呼吸恢復正常為止。這需要花費一些時間。如果呼吸困難症發生在深海作業下，頭盔應通氣調整，因為沒有實際方法區分這個症狀是由於呼吸氣體所增加的密度，而使得頭盔裏的二氧化碳增加。

- 1.潛水人員應該升上水面或被帶至淺灘。
- 2.如果心理狀況急劇仍未恢復，潛水活動應被迫中止。

密度

一、大氣之密度

大氣由大約百分之七十八的氮氣，百分之二十一氧氣，和其它約百分之一的稀有氣體所組成，其平均密度在海平面上大約是 $1.3 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ ($8.2 \times 10^{-2} \text{ lbs/ft}^3$)

二、海水之密度

海水之密度，隨海水溫度之降低和鹽度之增加，而增加其平均密度大約是 1.03 g/cm^3 (64 lbs/ft^3) 和淡水比較，淡水的密度在溫度為 4°C 時為最大，大約是 g/cm^3 (62.4 lbs/ft^3)

聲音

聲音是藉著介質（空氣、水．．．等）之振動而傳播能量的一種現象。不同的介質傳播的速度就不同，例如在空氣中聲音的速度大約是 330 公尺／每秒，在水中則大約是 1500 公尺／每秒，幾乎是空氣中的 5 倍。

人體的耳朵在空氣中是很靈敏的器官，可以感受到很微小的聲音振動，但在水中，對於水分子的感受就不很靈敏，因而在水中聲音就沒有辦法聽得很清楚，又由於聲音傳播的速度太快而往往無法辨別聲音來源的方向。

光譜與顏色

太陽白色光，事實上並不是單一顏色，而是由紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等不同頻率的彩色光線所組成，這些不同頻率的彩色光線，稱為光譜。

由於不同顏色的光線在水中有不同的穿透力，進入水中的白色光譜中的紅色光，由於穿透力最小，也就最快被水所吸收，而藍色光穿透力最大，也就最慢被水所吸收，因此，不同顏色的光，可以穿透進入水中的深度也就不同。

這也就說大約在五公尺以下的紅色魚，由於太陽光中的紅色光譜在五公尺的水深中已被海水吸收，人眼在水中所看見的這條紅色魚會變成黑色的。隨著水深度的增加和光線的被吸收情形，在水中看物體，往往無法看出它真正的顏色。例如人體的血液，在自然光下看是紅色的，但是在水中十幾公尺處看卻變成綠色的，這是因為紅色光源已被吸收而呈現出血液中剩下的綠色光源。

紅色光譜，由於是較低頻率之光，所以穿透力最小，但頻率低、波長長，則較不易受到雜質的影響也造成散射。相反地，藍色光譜，由於是較高頻率之光，以穿透力最大，但頻率高，波長短，則很容易受到雜質的影響也造成散射。因此，在雜質、懸浮物較多的水中，藍色光譜是最先被散失掉的，而非紅色光譜。

這也就是清澈的大海呈現出藍紫色，而混濁的港灣內海，呈現出黃紅色的原因。

潛水夥伴

在接受潛水訓練時就必須養成沒有潛水夥伴就不潛水的習慣。潛水夥伴必須是你可以信任的潛水人員，一般初學者最好是找一位較資深的潛水人員做你的潛水夥伴。

兩個人一同潛水可以使休閒潛水更為有趣，可以使工作潛水更為有效率，而無論何時、何處都將會使潛水更安全。

潛水夥伴須養成資深潛水者在前方帶路，資淺潛水者保持在左後上方或右後上方一、二公尺以內的位置，使前方的夥伴可以隨時不斷的回頭看見他，不可以保持在正上方的位置，因為這樣將使他的夥伴看不見他。

體溫之保持

人體中心之體溫若低於 36°C ，正常的生理機能就會受影響，低於 34°C 以下，昏迷、心跳不規則，生理機能停止等將會發生。人體因本身能不斷的製造熱量來保持體溫，因此在陸地上人體的中心體溫可永遠保持在 36.5°C 至 37.5°C 的體溫。

海水的比熱是空氣的一千倍（即使同重量的海水升高 1°C 所需的熱量是空氣的一千倍），熱傳導係數是空氣的 24 倍（即在同樣的溫度差之下，人體在海水中喪失熱量的速度是在空氣中喪失熱量的 24 倍）。因此人體在海水中若無適當的防寒潛水衣的保護來減少皮膚和海水的直接接觸的話，很容易會喪失體溫。另外，人體的熱量也會大量地從潛水空氣瓶的呼吸中被帶走。吸入較低且乾燥的空氣瓶中的空氣，直接進入肺部，再呼出高溫潮濕空氣，這一呼一吸往往佔據了人體百分之十五到二十五的總熱量喪失量。

一般海水的溫度隨海水的深度而有不同，白天因陽光之照射上層較溫下層較冷，晚上因表層溫度之喪失則剛好相反。

喪失太快或太多的體溫，人體會以顫抖的運動方式來增加熱量的產生，這是一種生理保護措施的直接反應。若熱量的喪失是長期性而較為緩慢時，往往顫抖的反應並不會發生，而會發生在不知覺中體溫喪失而昏迷的危險現象，因此潛水人員必須保持警覺，是否有體溫喪失的現象，例如手、腳感覺冰冷，或手握力不足，動作不靈敏，反應遲鈍等，都有可能是體溫喪失，應即刻停止潛水。

一個體溫喪失的潛水人員浮出水面之後，應即刻接受熱量來恢復體溫，例如喝熱湯、咖啡，沖熱水澡，乾燥身體，運動及加厚衣物等。最好一直加熱至身體流汗為止，這時表示身體已經恢復體溫並且製造並排放身上的餘熱。利用喝酒使身體發熱並不是正確的做法，因為酒精使循環速度加快，血液充滿於皮膚組織層，更增加了體溫的繼續喪失。