

## 介紹

### 1. 使用範圍

異常氣壓作業主要分為(1)壓氣工法之高壓室內作業與(2)潛水作業兩大類；而高壓室內作業係指沉箱施工法或壓氣潛盾施工法以及其它壓氣施工法等作業，乃於表壓力大於大氣壓力之作業室或豎坑井內部實施者，故高壓室內作業除各相關施工法外，其主要關鍵(作業單元)乃為壓氣施工法之使用。

壓氣施工法係屬於輔助工法之一，作為處理地下開挖之地下水，以防止地下水滲入作業區而造成施工困難性與衍生土壤崩塌問題之發生。工程上之運用主要分為沉箱施工法、潛盾工法等項。一般供為橋樑下部結構；水庫基礎工程；發電所各種設備之基礎工程，水閘結構物(含進水口與排水口)；潛盾工程用工作法等以及壓氣隧道工程等施工作業之用。

### 2. 名詞解釋：

- (1) 壓氣施工法：乃以壓縮機將空氣至入侷限空間之作業區域內，以防止地層水因間隙水壓而滲入作業區，並造成土壤軟化或產生異常出水、崩塌等問題，俾利於施工作業之一種方法。
- (2) 高壓室內作業：指沉箱施工法或壓氣潛盾施工法及其他壓氣施工法中，於表壓力超過大氣壓之豎坑內部實施之開挖作業。
- (3) 潛水作業：指使用潛水器具之水肺或水面供氣設備等，於水深超過10公尺之水中實施之作業。
- (4) 氣閘室：指對作業施工於進出作業室(高壓室)之際，實施加、減壓之處所。
- (5) 耐氧試驗：指對從事異常氣壓作業勞工在壓力每平方公分二公斤以上供其呼吸純氧三十分鐘之試驗。
- (6) 沈箱施工法：沈箱為基礎之一，主要係以鋼筋混凝土為主要材料，構築成任一形狀之箱，人於箱內作業，將箱底內泥土挖出後，箱因本身重量或取重而下沈，到達一定工作深度之施工法，箱基入土在一定水位下，則採用壓氣沈箱，使箱內壓與箱外水壓

平衡，而不致使外水進入箱內。

- (7) 潛盾工法：乃於軟質地層而不足合以使統隧挖工法施工者，改利用潛盾前端之開挖機構，以組立於盾之環片環構造作為反作圍力，使潛盾向前潛入地層，作為隧道開鑿與支撐之工法。盾尾作為支撐組立之環片環，可撐住隧道四周之土壓，作為隧道之襯砌。環片與地層間之空隙，則迅速以背填灌漿充填之，以降低地表沉陷。

## 危害

### 1. 潛在危害、災害類型

- (1) 由作業區地質特性及作業內容區分壓氣施工法之可能潛在危害，主要為缺氧、有害氣體(含甲烷、CO<sub>2</sub>、硫化氫、CO、硫化物與氮化物等)、壓氣沈箱內火災，減壓症以及其它高氣壓障礙症等。
- (2) 由作業程序區分，其潛在危害可依隧道內高壓空氣壓之變化與其對身體所造成之健康危害，不同階段之危害列如下：

#### A. 加壓期：

(A) 擠壓症：高壓室內作業可能發生擠壓症之原因，機轉與症狀通常與快速潛水時所產生之症狀相同。但因壓氣施工作業之加壓速度很慢，其發生機率較低，如仍因擠壓症或氣壓傷害所導致之前耳傷害應及早治療，否則將造成聽力或平衡永久性之傷害或殘廢。

(B) 氮氣迷醉：若高壓空氣之氮氣分壓超過2.5大氣壓以上時，即將引發輕微迷醉現象，但通常壓氣施工作業區很少超過四大氣壓，且通常工作壓力超過50磅／平方吋時，便禁止人員進入；如非作業不可時，則僅能改用氮氣混合氣代替方可進入(目前採用氮氣混合氣自動控制作業系統已可使用高達73.4磅／平方吋(600kpa)之高壓室內作業)。

#### B. 作業期：

(A) 缺氧症：高壓室內作業通常極少發生缺氧現象，作業過程中如發生缺氧症，其原因大多為供氣中斷或流量不足；氣瓶含氧量過低，重體力勞動等工作因素，以及減壓時氧氣分壓驟減等。又當供氣突然中斷時，由於作業區內壓力驟

減，其上方如隧道等之上方可能亦會伴生土方塌陷問題，人員應注意緊急疏散，以及防範疏散時減壓時間不足而產生之減壓症。

(B) 氧氣中毒：吸入氧氣濃度太高(即分壓為0.2大氣壓者)之氧氣過量或時間太久均容易發生氧氣中毒現象，高壓室內作業之氧氣中毒大多發生於使用純氧分段減壓不當(即時間過長或分壓過高)或進行高壓氧氣治療失當。

(C) 一氧化碳大多由於空氣壓縮機保養不良或潤滑油等操作錯誤致產生大量一氧化碳、二氧化碳與其它廢氣；隧道或空氣壓縮機之排氣口裝設於空氣壓縮機之上風口處；高壓室內通風不良或通風死角處；以及地層中之有害氣體或可燃性氣體滲入工作場所中均為主要來源。

一般一氧化碳應低於35ppm；二氧化碳應低於0.5%；甲烷氣則應低於1.5%。

#### C. 減壓期：

(A) 減壓症：未依標準作業程序減壓致減壓過快( $P > 30 \text{ ft H}_2\text{O}$ )，引發第一型與第二型減壓症。

(B) 空氣栓塞：閉氣減壓，造成肺泡破裂( $P > 3 \text{ ft H}_2\text{O}$ )，引發肺氣腫，皮下氣腫與腦空氣栓塞。

(C) 缺氧性骨骼壞死：發病機率為25%~65%。

#### D. 任意期：

(A) 矽肺症：乃由噴漿之矽成分，在肺部內形成散布型膠原質細小圖形纖維小結，進而融合成大纖維結節所產生者，症狀分為單純型、融合型與急性矽肺症等。

(B) 熱傷害：高壓室與隧道工程內含散發大量之熱量，當體溫大於41.1℃時將產生中暑，無常用良好通風防止，然高壓室內中暑病例仍易發生，故除通風與溫控外，工作人員需有充分休息並補充水分與電解質。當身體缺水或缺少鹽份且體溫高於40.6℃時，將產生衰弱、神智不清、皮膚潮溼、蒼白與嘔吐等熱衰竭症狀，進而可惡化成中暑。另，輕微之次要危害為熱瘡癩、熱昏歇、皮膚病變與生殖系統異常等作用。

(C) 灼傷：乃由甲烷(地層酸酵產物)、蘆葦(充填於兩隧道不鏽

鋼護環間隙之材料)、木墊與液壓池及機器之洩漏油滴引發火災以及重機具維修保養所產生之灼傷。

(D) 耳道感染：乃由潮溼、過敏與細菌感染所引發者。

### 作業程序

1. 應先針對壓氣施工作業環境進行安全調查程序，調查項目應包括地質(地層之形狀、厚度、狀態、物理與力學性質、分布、傾斜與不完整等)；地下水位(含地下水浸透壓、間隙水壓流連與水質狀況等)；周圍1公里半徑區域內之缺氧環境與有害氣體濃度與危害；工程與生活用水、排水流向及電力供應。
2. 準備壓氣施工作業所需之各種設備包括空氣壓縮機(動力源應有二個系統以上者，含空氣冷卻、冷凍與溫度等自動警報裝置；冷卻用水設備，透氣調節裝置管線以及壓力計(細刻度為0.2kg/cm<sup>2</sup>以下，內容物不致凍或耐80℃以上者)等。
3. 作業人員進入工作場所前每班至少應量測作業場所之氮氣、CO、CO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、硫化氫與甲烷濃度，並記錄之。當CO<sub>2</sub>濃度超過0.5%時，應加強換氣。
4. 應確定作業場所地面已無漂浮或積存液壓油，並檢查消防水管之水壓與功能之正常。
5. 檢查急救器材，通訊設備與壓力表等必要設備，並確認已定期更換且功能正常。
6. 工作前，應確認未攜帶入香菸、任何可燃物打火機、火柴發火源與裝飲料之熱水瓶。
7. 高壓空氣開始輸入時，應作吞嚥、打呵欠或先深呼吸後再以手捏住鼻子並將空氣由口腔吹至耳朵之動作，使兩邊耳壓平衡。
8. 開始作業後，應依異常氣壓危害預防標準第5條規定，確認每一勞工占有之氣積應達4立方公尺以上。
9. 作業時間應依同標準第19至23條之規定管理之。
10. 作業完成後，應依下述步驟實施減壓處理。
11. 將氣閘室加壓至預定工作壓力，裝妥氧氣監測(警報)器，並將感知頭連於排氣處，調整換氣量後，再校正室內之氧氣濃度不致超過21%(容積比)。
12. 檢查進室勞工是否攜帶香菸、易燃物、火柴與打火機等可燃物與火

源，並要求絕對遵守嚴禁抽菸與動火之規定(應於明顯處，標示禁止與警告標誌)。

13. 使用空氣面罩時，全部人員應一同配戴之，應準備備用面罩，然後氣閘室操作，開始記錄氧氣減壓時間，並要求作業人員開始同時吸氣。
14. 氣閘室換氣應保持氧氣重量百分比低於**23%**，如超過**23%**時，應立即緊急換氣；如氧氣供應中斷時，除應即緊急換氣外，並應通知室內領班檢查洩漏源。
15. 呼吸氧氣之作業人員應保持休息狀態，禁止在室內劇烈運動，且應穿著適當衣物，以防體溫過低。而引起氧氣中毒。
16. 於不同艙壓下實施氧氣減壓時應先依下表校正氧氣偵測儀所測得之氧氣含量(下表應張貼於氣閘室壁上)。

不同壓力之氧氣監測(警報)器校正後讀數

磅／平方吋	校正%	最大氧氣許可值	絕對壓力
20	49.6%	54.3%	2.96
18	46.6%	51.1%	2.22
16	43.9%	48.1%	2.09
14	41.0%	44.9%	1.96
12	38.2%	41.9%	1.82
10	35.3%	38.6%	1.68
8	32.3%	35.4%	1.54
6	29.6%	32.4%	1.41
4	26.7%	29.2%	1.27

17. 如發生氧氣抽筋狀況時，應立刻取下面罩，將空氣管置入口內，同時將其頭部後仰，且將下額提起，以保持呼吸暢通，並通知當班之專業醫師。
18. 發生火災時，應立即關閉氣閘室氧氣供應，如火災已無法控制時，應減壓至一大氣壓後，再疏散作業人員，並於**5分鐘**內進入另一治療用高壓艙(加壓至**26~27磅／平方吋**)實施緊急處理措施，並通知負責醫師。
19. 完成減壓階段後，應取下所有空氣面罩，並以不傷害面罩之清潔液擦拭之。

## 相關法令標準

1. 勞工安全衛生法第十一條：異常氣壓作業，應規定減少工作時間，並在工作時間中予以適當休息。
2. 異常氣壓危害預防標準第五條：作業室內每一勞工占有氣積應在4立方公尺。
3. 異常氣壓危害預防標準第六條：勞工在氣閘室加減壓時，每名占有氣積0.6立方公尺以上，底面積0.3平方公尺以上。
4. 異常氣壓危害預防標準第七條：對輸往沉箱之作業室或氣閘室之輸氣管，應不得通過豎管，並非接近作業室處設逆止閥。
5. 異常氣壓危害預防標準第八條：於空氣壓縮機與作業完成氣閘室間設空氣清淨裝置。
6. 異常氣壓危害預防標準第九條：作業室、氣閘室設專用排氣管、氣閘室者，其內徑應53公釐以下。
7. 異常氣壓危害預防標準第十條：輸氣調節用閥、旋塞設於沉箱，潛質外部時，應設壓力表，設於內部時，應使勞工帶壓力表。
8. 異常氣壓危害預防標準第十一條：作業室、氣閘室設置空氣異常升溫自動警報裝置。
9. 異常氣壓危害預防標準第十二條：於氣閘室外設觀察孔。
10. 異常氣壓危害預防標準第十三條：高壓室內作業時應置備呼吸用防護器、繩索、緊急照明裝置及緊急避難、搶救必要用具。
11. 異常氣壓危害預防標準第十六條至三十六條：雇主應於每一高壓室內置作業主管及其職責，進行門禁管制，揭示禁止事項實施加、減壓管理(加壓速率、減壓時間)，防止CO<sub>2</sub>及危害或有害氣體危害，配置緊急通話設備以及辦理作業檢點等管理。
12. 異常氣壓危害預防標準第七十八至九十三條：雇主提供之減壓艙應符規定，並加管制，使用時應依規定，減壓艙應設供氣系統，材質與配備應符規定，並設置通風與警告、標示設施。

## 災害案例

### 案例一

某營造公司在運河上使用S式沈箱(圖1)建造高速公路橋墩，平均每日使之下沉1m，發生事故的當日，下沉深度為地下19m。此運河是大阪最為污穢

的一條河道，所以此工程從一開始就把重點放在防止甲烷等氣體災害後才繼續挖掘作業。地質並不差，在地下16m處送氣壓為0.6~0.8kg/cm<sup>2</sup>。

1996年7月事故發生的前一天，尚以0.8kg/cm<sup>2</sup>的相內壓力作業著。但土壤已從粘土層變成含青色的砂礫層，當往砂礫層下挖約45cm深時已是上午11點30分左右，作業人員停止作業，全體離開至沈箱外。然後，此工程負責人將其減壓至0.4kg/cm<sup>2</sup>，讓沈箱下沉，且調節送排氣閘塞，再還原為原來的0.8kg/cm<sup>2</sup>後離開。次日，測量儀器人員查看氣拜啓壓計時，發現壓力已降為0，且上鎖的人孔蓋也已打開。

首先甲為了調查內沈箱內的狀況、即進入沈箱，並下降至13m時，即有頭重腳輕不舒服之感。甲自己判斷這是感冒的症狀後，就昇起離開沈箱，且告訴負責孔蓋上鎖的人，箱底無積水，條件良好。其後，甲以感冒請病假。

其後，4名作業人員下降時，負責孔蓋上鎖的人號曾指示「降到下面後要送回指示」，但過15分鐘後，卻無任何信號送回，負責孔蓋者即由上窺視情形，發現該四名人員已昏倒於作業室。經通知班長乙。班長乙一面呼叫救護車，一面自戴氧氣呼吸器進入，並於前來之救難隊員，將4名工作人員救出，但已經回天乏術。

因前夜加壓，次日早上又未送氣通風(工程主管已在前夜停止送氣，且將壓力回歸至0.8kg/cm<sup>2</sup>)，故壓入砂礫層之空氣已失去氧含量後，再回流至箱內，故沈箱內已呈缺氧狀態。

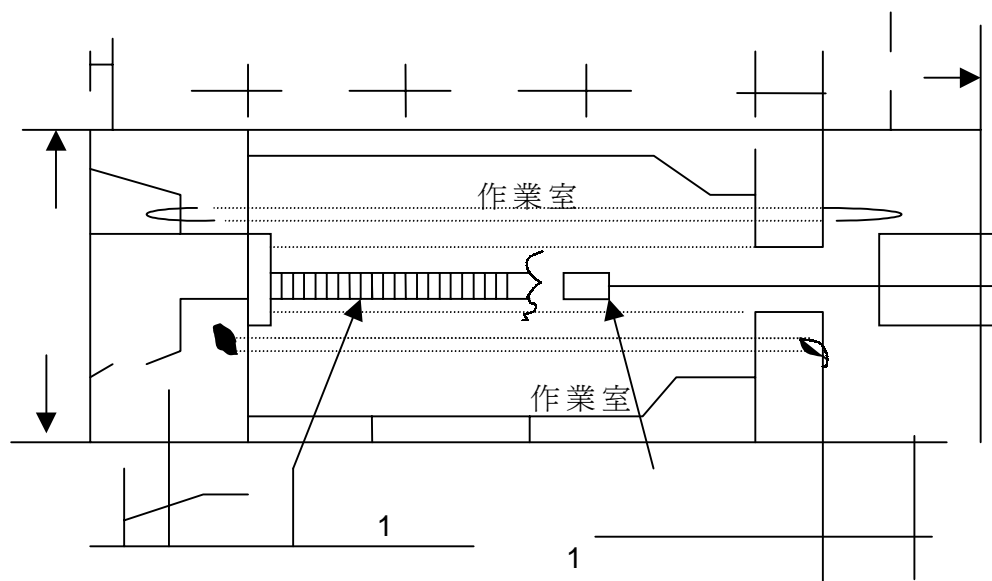


圖1 S式沈箱(上部氣閘室省略)

## 案例二

某工程採壓氣工法輔助施工，壓氣壓力保持在 $0.6\text{kg}/\text{cm}^2$ ，該工程管理人員為處理隧道內緊急狀況，於身患感冒時，強行進入壓氣隧道內，後經解壓時，發生流鼻血，耳內發炎等現象。

經查事故發生原因乃為身患感冒時仍強行進入壓氣隧道內所致。

改善對策：

1. 身體狀況不佳時嚴禁進入壓氣隧道內，以防發生意外。
2. 加減壓作業應依照異常氣壓作業標準確實實施。
3. 發生異常氣壓危害事故時，應及時送往設有醫療氣閘之醫院治療。
4. 從事異常氣壓作業人員應依勞工健康管理規則等實施體格檢查及定期健康檢查。

## 案例三

某工程採壓氣工法輔助施工，壓氣壓力為 $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ ，某來賓於進入壓氣隧道內參觀後，經減壓程序時發生流鼻血現象。

事故發生原因經查為參觀來賓於進入壓氣隧道前雖經安衛人員施以安全教育，但未能完全遵守，以致發生意外。此外，該員身體狀況可能不適用於壓氣作業條件。

改善對策：

1. 採壓氣工法輔助施工時，應儘量避免非必要人員進入壓氣隧道內參觀。
2. 參觀人員進入壓氣隧道前應依規定施以安全教育，並嚴格要求遵守相關規定。
3. 於加減壓作業時除應依照異常氣壓作業標準確實實施外，更應特別注意每個人之反應，以防意外發生。
4. 於加壓過程中若發現有不適用於壓氣人員，應立即停止加壓並依規定減壓，以維人員安全。

## 參考資料

1. 行政院勞工委員會，民國80年，台北，勞工安全衛生法。
2. 行政院勞工委員會，民國80年，台北，勞工安全衛生法施行細則。
3. 行政院勞工委員會，民國83年，台北，營造安全衛生設施標準。
4. 行政院勞工委員會，民國84年，台北，職業災害實例專集。



5. 行政院勞工委員會，民國86年，台北，異常氣壓危害預防標準。
6. 勞動災害防止場所，日本，缺氧症等的防止。
7. 勞動災害防止場所，日本，壓氣沈工法施工準則。
8. 行政院勞工委員會，民國87年，台北，異常氣壓作業事故及減壓症預防。
9. 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，民國85年，台北，壓氣工法勞工減壓症預防對策。
10. National Safety Council, 1985, U.S.A., Subsurface Structures and Sewers, Industrial Safety Data Sheets