

深層海水取水工程關鍵技術之探討

簡連貴

臺灣國立海洋大學河海工程學系教授暨近海防災中心主任

摘 要

臺灣四周環海、海洋資源相當豐富，海洋是我們提升國際競爭力的重要利基。推動海洋深層海水產業，可彰顯臺灣海洋國家之特色與競爭力，符合綠色永續發展目標與需求，推動海洋深層海水產業對建構我國海洋政策藍色經濟有其重要性，值得持續務實推動。本深層海水取水工程關鍵技術探討，係以與取水管線相關之項目為主要研擬標的。並以目前深層海水產業應用開發最廣之「陸地型深層海水取水工程」為探討對象。分為「近岸工程」與「海上佈管工程」兩部份。近岸工程包括：取水井、陸域段管路及近岸段管路。海上佈管工程包括：近岸段管路、深海段管路及取水頭。期能落實建立本土化工程作業技術標準化及資訊化之目標，以利深層海水開發管理及海域空間永續利用。

一、前言

台灣東部海域由於地理環境特性，具有世界上良好深層海水（Deep Sea Water，DSW）開發利用之最佳地點。近年來在政府及地方企業之大力推展及努力下，已逐漸有民間企業單位予以開發利用作為各類經營項目之推廣，諸如：養殖、飲料、化妝品、藥品...等。目前花蓮地區，已有幸福、光隆及台肥三家分別完成深層海水取水工程。由於美、日等深層海水利用，多係由民間事業單位為開發主體，至今尚無正式之國家標準建立，我國之開發亦多以自辦或委辦方式完成取水管線工作。本取水工程關鍵技術之探討，由於取水利用標的各異，謹針對深層海水取水工程施工關鍵技術加以討論。此均係研究團隊綜合台灣過去開發經驗，並參酌國家經濟發展現況及法令規定加以整理所完成。水深 200m 以上的海水即是深層海水（Deep Sea Water，簡稱 DSW）。其重要特性如下：

- (一) 低溫
- (二) 富營養鹽
- (三) 潔淨
- (四) 成分穩定
- (五) 永續再生

深層海水多目標利用可歸納為七大類，茲分述如下：

- (一) 資源利用
- (二) 能源利用
- (三) 水產的應用

- (四) 農業的應用
- (五) 食品的應用
- (六) 健康、美容、醫療的應用
- (七) 環境保育的應用

台灣東海岸因位於大陸棚邊緣，可在離岸很近距離內即取得深層海水，是全球少數具有開發深層海水潛能地區之一。依據經濟部所研擬之「深層海水資源利用及產業發展實施計畫」中，由經濟部水利署主辦於資源開發端之三個重要研究工作項目分別為「開發場址海域特性調查及研究」、「協助產業進行深層海水開發利用研發」及「引水工程申請作業規範」，其中所牽涉之共同技術項目即為深層海水取水工程技術。本探討主要內容包括：

- (一) 國內外取水工程技術資訊收集與評析
- (二) 近岸工程技術 (含工序及建議)
- (三) 海上佈管工程技術之研擬(含工序及建議)
- (四) 深層海水取水管材研析
- (五) 取水點定位技術之初步研析

美國、日本均尚無正式制訂之深層海水取水工程技術規範，僅係以個案方式，就不同之需求及海域環境，擬訂設計圖說及施工規範，但基於商業機密保護，外界不易取得其完整資料。

二、深層海水取水工程要項

深層海水取水工程除取水井中之機電部份外，其他管線工程等，是為探討範圍。要項可分為取水井、取水管及取水頭等。深層海水之發展技術主要以美國、日本為首，近年來我國亦積極投入該項產業開發，其中最具關鍵技術之一為面對海洋環境之取水工程，而國內佈管技術尚在起步階段，須藉助參考國外之技術經驗，研究發展適合本土環境之取水技術。深層海水汲水方式依汲水動力設施之位置，一般分為海上型與陸地型兩種。美國、日本及國內之連續汲水設施皆用陸地型法，為本文主要探討對象。

陸地型深層海水取水方式係於陸上設置抽水井，以銜接陸上之取水泵、送水管線及向海之取水管路、取水頭設施等，如圖 2.1 所示。向海之取水管路由於高程、水深之不同，包括近岸端(含陸岸段、淺海段)、深海端兩部份。典型之深層海水取水工程分項如圖 2.2 所示。

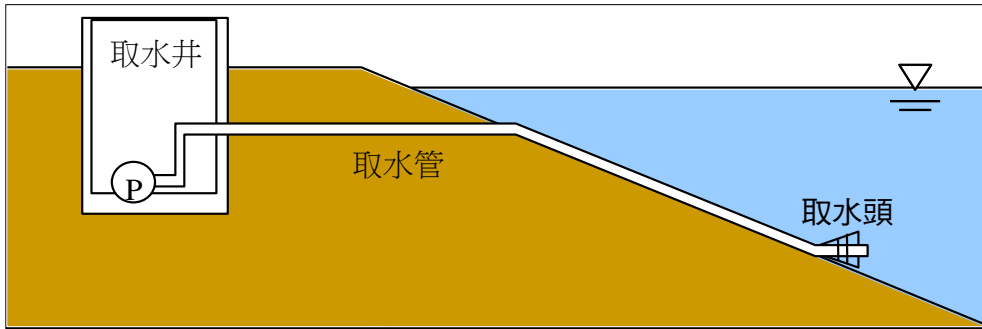


圖 2.1 陸地型深層海水汲水設施

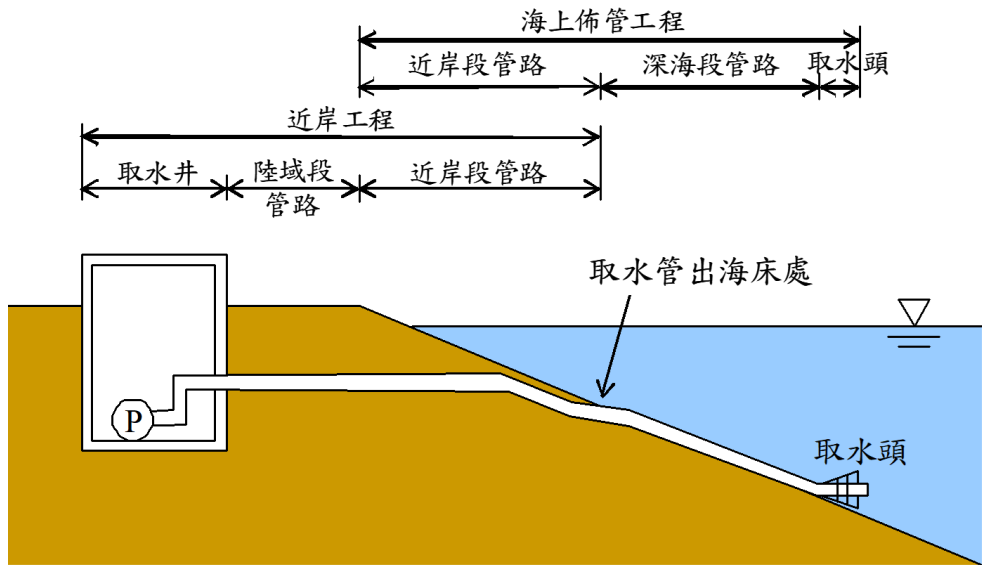
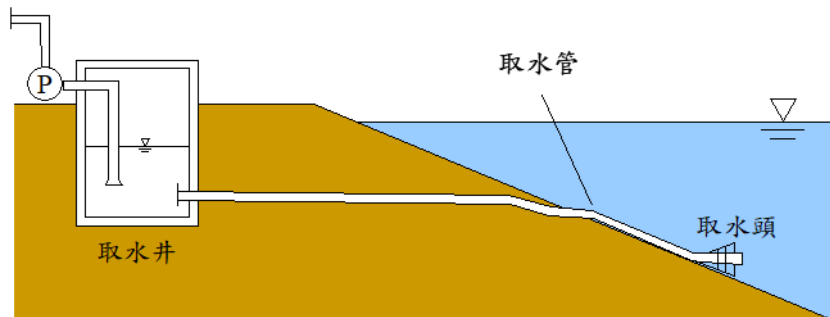


圖 2.2 取水工程分項示意圖

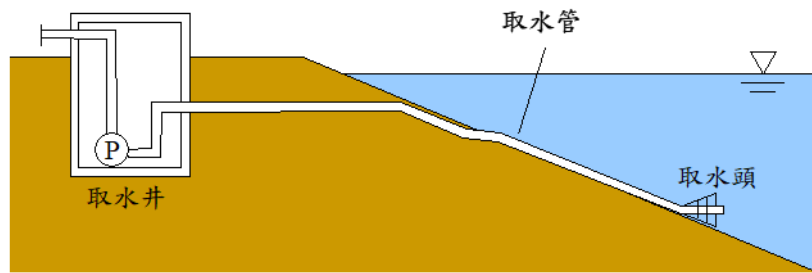
2.1 取水井

取水井為取水管與取水泵浦及陸上送水管線銜接之主要設施，此設施需能達到設計取水量之要求，並提供銜接及架設取水管、取水泵浦及送水管線之空間要求。取水井汲水之方式分為自然導入式(重力式)與直接揚水式(機械式)兩種，如圖 2.3 所示。

1. 自然導入：即一般俗稱濕式取水井之汲水方式。
2. 直接揚水：即一般俗稱乾式取水井之汲水方式。



(A) 自然導入方式



(B)直接揚水方式

圖 2.3 取水井汲水方式示意圖

岸上取水井為深層海水汲水之重要設施，其設置地點須考慮下列原則：

- (一)設置於灘線後側避免時常受潮汐、波浪溯上影響所及之範圍。
- (二)避免上岸取水管路之平面路線曲折。
- (三)儘量減少取水管路長度。
- (四)儘量避開既有設施。

取水井設置之地面高程應在朔望平均高潮位(一年以上觀測時間內之每月最高潮位之平均)2 公尺以上，或依暴潮設計水位酌加餘裕(以大於 50cm)以上為原則。取水井之底部高程設計主要考量因子為潮位與管路損失水頭，並計算可能之管路損失水頭。取水井設施：取水井構造物主要包括土建、機電及相關管路設施。

(一)取水井管路配置考量：一般取水井內之管路配置須考量取水管路與排水管路之需求，所配置管路可能單管或多管。

(二)管路配置方式

- 1、明挖回填掩埋法
- 2、地下隧道工法(免開挖工法)

(三)管路敷設注意事項

二支以上管路同時敷設時，須採取必要措施以維持管路間之距離，以避免相互交叉、接觸。

2.2 取水管

取水管工程大致分為深水及淺水兩類，深水管線為指水深 50m 以上部分，淺水即以 50m 以下水深為探討對象，其中又分為近岸段及陸上段。深層海水工程所採用之管材，多以 HDPE 為主，其主要待探討者為如何敷設於海床上，且是否需要保護及配重，更重要為與取水頭之連結及取水水質保持穩定之配置。

一般陸上型 DSW 取水技術之基本考量為：

- 取水深度
- 管材（非金屬）
- 取水量（1500T/日以上）
- 耐用強度（15 年）
- 取水管安定度
- 取水管路徑之地形、地質及設置方式敷設工法與費用概估

又就取水管選線而言，其所需考量條件如下：

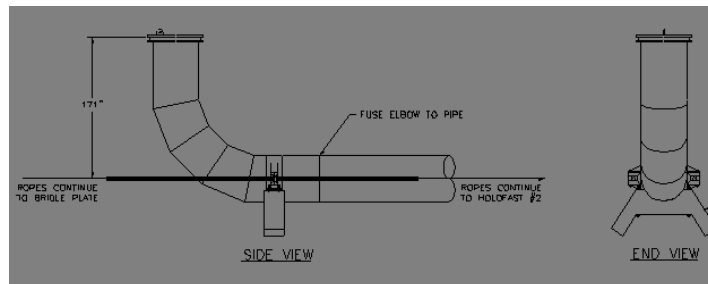
1. 登陸點應擇取地勢平坦處。
2. 受海象影響之不穩定海岸，不宜作為登陸地點。
3. 路線避免過度曲折儘可能採直線。
4. 淺水區管線易受波、流影響，海底底床也較易淘刷，故管線長度應儘量減少。
5. 選擇海床上土質承載力良好之處，應避免粘土或淤泥等區域。
6. 避免有海床管線或電纜地區，如有航行路線經過時，為防止下錨，應特別加以保護。

2.3 取水頭

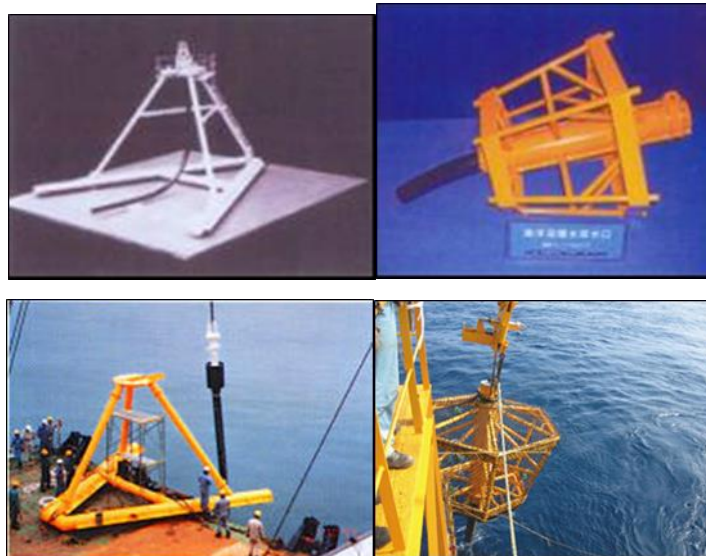
深層海水取水頭係位於取水管路之最前端，就其型式、佈設、定位及材料分述如下：

2.3.1 取水頭型式

取水頭為汲取深層海水之進水口，設計上應預防吸入海床底質，故一般取水頭之入口高度須離海床一段距離，施工上亦應避免取水頭倒放朝向海床。主要取水頭型式如下(如圖 2.4)。



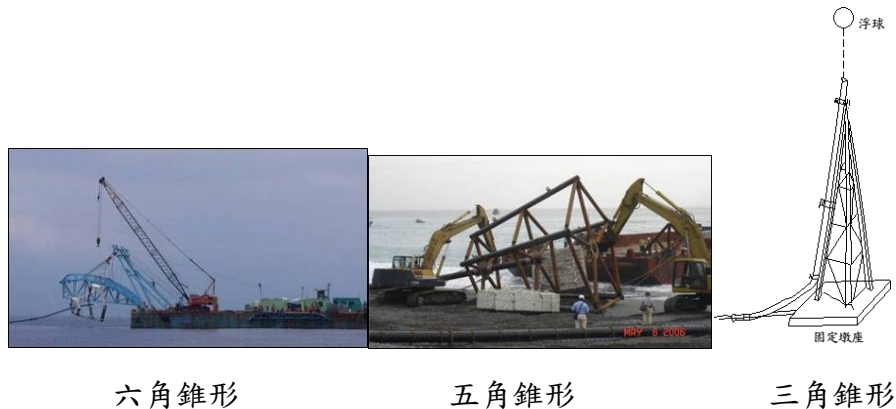
(A) 美國



六角錐形

三角錐形

(B) 日本



(C) 國內

圖 2.4 國內外取水頭型式

(一)美國

採 90 度彎管，並以螺釘錨錠於海床上。

(二)日本

日本取水頭主要分成一般砂礫石地質情況下係採用六角錐形與取水頭，若深海地質為浮泥則需要提高取水頭位置，而以三角錐形之取水頭為宜。

(三)國內

國內花蓮業者所採用取水頭有類似日本之五角錐形(幸福集團)與六角錐形(台肥公司)保護架，亦有自行改良設計包含固定墩座、浮球之三角錐形保護架(光隆企業)。取水頭施工係與取水管線一併作業，當取水頭就海上佈放位置定位後，將其沉放入海完成佈設。目前美國、日本及國內深層海水取水頭之施工方式，主要有注水沉降、鋼索吊降及重力沉降等。

1、注水沉降(美國)

2、鋼索吊降(日本)

3、重力沉降(國內)

2.3.2 取水頭佈設工法

取水頭之佈設方式與海上佈管工法有關，針對主要佈管船置放法與海面曳拉法之取水頭佈設工法分述如下：

1、佈管船置放法

海上佈管採用佈管船置放法之取水頭吊放可考慮使用無人遙控載具 ROV 輔助施工。

2、海面曳拉法

海面曳接法之取水頭沈降可考慮使用起重船及 ROV 輔助施工，以提高取水頭佈設位置之控制。

2.3.3 取水頭材料

深層海水取水頭主要由取水管與保護架所組成，保護架所使用材料與維護關係取水頭之取水功能與使用年限。取水頭保護架所使用材料，須考慮作用之外力、耐久性、安全性、使用年限、結構型式、施工性及經濟性等因素而選

定。於取水頭沈設過程中，主要遭受外力為著底時之撞擊應力，佈設後需支撐取水管抽水之負載，所使用材料需具強度高、容許應力大等特性。又保護架在施工上須具有加工容易及作業便利等優點，由於沈設後不易維護，其使用須具耐久性。依上述分析，取水頭保護架之材料特性與人工魚礁相似，應可考慮使用混凝土或鋼鐵材料製品。其中混凝土材料不適用於作為大型構架，施工作業較繁複且加工不易，耐衝擊力較差，但在水中無腐蝕問題易維護，而鋼材適用於作為大型構架，耐衝擊力較佳，易於施工及加工，惟需考量水中腐蝕現象。初步分析取水頭保護架以鋼鐵材料製作較適宜，亦是目前深層海水取水頭所廣泛使用之材料。

三、取水工程施工技術探討

3.1 探討要點

應用開發最廣之「陸地型深層海水取水工程」為探討對象。取水工程技術主要分為「近岸工程」與「海上佈管工程」兩部份(參考前圖 4.2)：近岸工程因受潮汐、波浪、海流等影響，為避免取水管路直接曝露於海床上易受波力、水流作用而損壞，一般需考慮管路保護，而常埋設於陸地或海床下，直至管路受波浪、海流作用影響較小時始露出海床。故近岸工程係指取水管路露出海床前之

施工作業，包括取水井、陸域段取水管路設置、近岸段取水管路設置等施工。關於取水管路露出海床之深度主要視當地海象條件而定，宜位於颱風波浪之碎波範圍外，以美國夏威夷約在水深 24m 左右，日本約在水深 50m 以上，而國內台肥公司之取水管路採 E.L.-50m 出海床。海上佈管工程係指陸上機具無法到達而須藉海上船機施工之佈管作業，其工程範圍由近岸至深海，包括近岸段管路佈設、深海段管路佈設及取水頭等施工。

3.2 施工注意事項

3.2.1 海上施工時期

台灣東部地區於 10 月起至翌年 3 月為東北季風期，吹風強勁且浪大，大部份時間皆不適合海上施工作業，而 7 月起至 10 月之夏季季風期海象條件較為緩和，雖可進行海上作業，但須隨時警戒颱風之侵襲，而易影響工程連續性與進度，且稍有不慎即易造成重大損失。因此一般海上施工作業大多集中在 4 月至 6 月進行，而年可工作日約 120~150 天左右。影響陸域施工之主要因素為降雨與吹風，而海域施工主要受波浪條件影響。依據台灣東部波浪等海象條件，每年 4 月至 6 月為深層海水取水工程最佳海上施工作業時間，其餘月份則可規劃為海上施工前整備工作及陸上施工之期程。

3.2.2 台灣東部海上施工條件

深層海水取水工程之管路敷設多屬海上施工，台灣東部瀕臨太平洋，冬季

東北季風強勁，夏秋之際又有颱風侵襲之威脅，海上施工受海象條件影響甚大，須慎選年中海象緩和之合適施工時間全力趕工，始能掌握工期及避免工程損害。

1、海上施工船機之作業能力

深層海水取水工程敷設管路所需動員之海上船機視施工方法而異，一般常使用之施工船機如佈管船、拖曳船、起重船、挖泥船等，各類工作船之最佳作業能力與作業績效如下(經濟部水資源局，1999)：

(1) 佈管船

波高限制：一般<2m，大型佈管船可耐浪 2m 以上年可工作天：180 天
每日長度：0.5~1.0km 最大管徑：可達 36”

(2) 拖曳船

波高限制：一般<2m，大型拖曳船可耐浪 2m 以上
年可工作天：150 天
每日佈長：1~3km
最大管徑：可達 2.6m

(3) 起重船

波高限制：<2m
年可工作天：120 天
每日佈長：0.5km
最大管徑：>5m

2、海上施工作業之浪、流指標

海域工程施工深受海洋動力環境之複雜性所產生各項海象狀況之影響，致有無法施工或影響施工效率正常發揮之因素須加以考量。參考金門海底輸水管線海上施工作業之浪、流指標如表 3-1 所示(經濟部水資源局，1999)，用以工期之推估及施工規劃之參據。

表 3-1 海上施工作業之浪、流指標

作業項目		浪高	海流流速	考慮因素
海上測量		1.0 公尺以下	—	精度需求
管溝浚挖		1.5 公尺以下	—	為開挖面平整度， 減少整修耗時
佈管 作業	施工船置放法	1.5 公尺以下	1 節以下	施工法之作業適宜 性
	海面曳拉法	1.0 公尺以下	0.5 節以下	
	起重船吊放	1.5 公尺以下	1.5 節以下	

石料回填拋放	1.5 公尺以下	1.5 節以下	易控制拋放位置， 減少石料流損
表面減壓潛水作業	1.0 公尺以下	1 節以下	參據英國潛水商協會 (AODC) 準則 要求
飽和潛水作業	1.5 公尺以下	1.5 節以下	

3.2.3 管線配重

一般 HDPE 取水管須於管外配重俾利沉降入海。配重方式須考量佈管方式、施工船機特性、洋流條件等因素，國內外施工案例常見之配重方式如下：

1. 配重塊

以混凝土或鋼製之配重塊每隔一段距離，鎖固於取水管上，以加重管之重量，於美國夏威夷與國內取水工程均有採用。

2. 鏈條

國內因應施工船機條件，開發以鐵鏈加載配重方式，並每隔一段距離設置一處管箍以固定鏈條，於幸福集團與光隆企業取水工程均有採用。

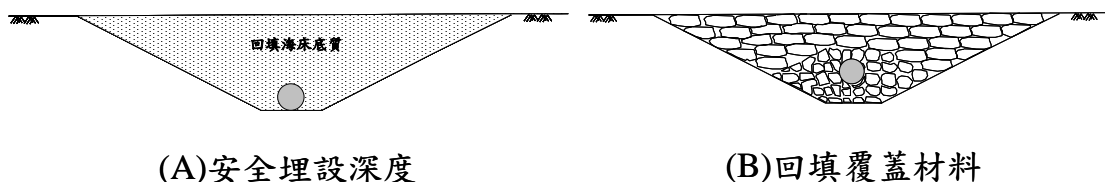
3.3 關鍵施工技術

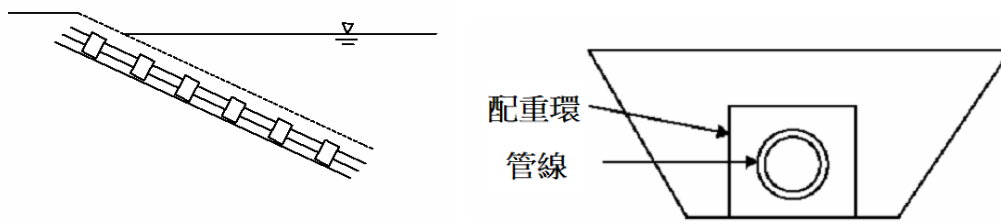
3.3.1. 近岸段取水管（含取水井）

近岸工程施工須考慮海象(波浪、潮汐、海流、潮流)、地質、土地使用、海堤、保安林等現地環境條件，除關係施工工進與直接成本外，亦影響工期之控制，故須因地制宜擬訂安全經濟及施工便利之施工方法。茲就取水井、陸域段管路及近岸段管路等施工分述如下：

近岸段管路之施工與鋪設受波浪、潮流、海流及風之影響最大，必須就現地環境條件、施工機具之配合等，慎重考量與評估各種可行之施工法，評選最佳之鋪設工法。為避免管線受到碎波帶強大波力直接作用，近岸段管路多佈設於海床之下。

近岸段管路施工對一般砂礫質海床可使用挖溝機、抽砂船或抓斗船等船機採挖溝回填掩埋方式近岸段管路採挖溝掩埋回填方式鋪設於管溝內，一般對管路尚須採取安全保護措施，如安全埋設深度、覆蓋材料、配重等均為常用方法，如圖 3.1 所示。





(C)配重及回填

圖 3.1 近岸段管路安全保護措施示意圖

(一) 安全埋設深度

當管路埋設深度足以預防海床冲刷保護管路免於直接受波浪及海流作用。

(二) 回填覆蓋材料

一般可考慮採用較大粒徑或重量之覆蓋材質回填於管路周圍及上端，常用材料如石料、蛇籠、水中(麻袋)混凝土等。

(三) 配重及回填

由於 HDPE 管之密度約 $0.94\sim 0.96\text{g/cm}^3$ 較海水為輕，外部需施加配重以沒入水下，如混凝土配重塊、鋼製配重塊或鐵鏈等。施加配重之取水管路沉設於管溝後，復以海床底質回填或覆蓋材料加以保護。

1. 取水井

一般取水井建造須依據現地環境及地質條件而定，可採用開口沉箱、結構體構築等方式，對於需深開挖之取水井多採用開口沉箱之工法施作。

(一) 沉箱工法

(二) 構築工法

2. 陸域段取水管路

一般陸域取水管路係埋設於陸地或沙灘下，陸域端多以機械式接頭與取水井銜接。主要施工方法與工序如下：

(一) 明挖回填掩埋法

(二) 地下隧道工法(免開挖工法)

a. 推進工法

b. 水平導向鑽掘工法

3.3.2 海上佈管 (含取水頭)

1、國內外深層海水海上佈管方法

美國、日本及國內深層海水取水管之實際佈放方法，概述如下：

(一) 美國

美國夏威夷深海管路之施工方式係將管線於陸上接合，於管內灌滿空氣使其能漂浮於海上，再利用拖船拖至鋪設地點，將管內注水使管線及取水頭沉入海底，屬海面曳拉工法。由於採用之取水管為 HDPE，管外未加纏繞鋼線等其他處理，管線較輕且管徑較大，易受海流影響而移位，故依海底狀況設計不同

類型之水泥塊，將管線固定於海床上。由於管線及附屬固定裝置在臨近港口組裝連接完成後，再以拖曳船拖至計畫佈設地點敷設，海上作業時間相當節省。

(二)日本

日本取水管之海上敷設係將連接完成之鋼線強化 HDPE 盤捲於施工船之捲盤上，再由施工船隊以鋼索及浮筒等設備由近海至深海逐次鋪設，利用管線重力自然沉入海床，最後再置放取水頭，屬佈管船置放法。由於管線多採鍍裝 HDPE，比重較水為大，基本上無設置配重塊之需。由於以佈管船逐次將管線安置於海床，且近海段尚需採用挖溝回填掩埋法固定，因此海上所需施工時間較長，受到天候及海象影響較大。

(三)國內

國內實際深層海水管路敷設所採用海上佈管方式，多為前述工法之結合應用。除台肥公司係由日本前田建設施工採佈管船置放法外，幸福集團與光隆企業所採用方式為海面曳拉法之一種，稱為表面拖放法，將取水管於陸上接合，並於管外部纏繞裝設配重鏈條，利用拖船及漁船配合陸上挖溝機之協助將管線自沙灘往外海曳拉，至鋪設地點後解除取水頭上之浮筒設施，隨同管線沉放入海。由於完全由國內廠商承包之改良式表面拖放法，兼具佈管時間短，經費需求較精簡(據工研院估算約傳統施工方式之 1/3)。

2、海上佈管工序

以美國、日本及國內深層海水取水工程實際施工案例而言，美國與國內之海上佈管工法主要採海面曳拉方式，而日本主要採佈管船置放方式，其施工工序如下所述。

(一)海面曳拉法

海面曳拉法係將管線浮在海面上，以船舶將管線拖向外海，至抵達目標區後，再將管線充滿海水緩緩沒入水下。其一般施工流程及工序如下：

- (1)施工船動員整備
- (2)敷設準備作業
- (3)錨錠設置規劃
- (4)取水管陸上組立
- (5)取水管與取水頭接合

於陸上將最前段之取水管端部與取水頭接合，以備曳航作業。

- (6)取水管海上曳拉
- (7)取水管與取水頭沉設

取水頭與取水管曳航至敷設地點，並完成定位後，解除取水頭上之浮體設施使其沉入海中或抽出空氣注入海水，管內進水後一併沉設至海床上。

- (8)錨錠撤除

撤除取水管與取水頭沉設時，施工船所設置之錨錠設施。

- (9)施工船整備卸除

取水管與取水頭沉設後完成海上佈管作業，施工船返港卸除整備。

(二)佈管船置放法

佈管船置放法係利用專業佈管船於海上進行佈管作業，以日本一般施工流程及工序如下：

- (1)敷設台船動員整備
- (2)取水管捲曲
- (3)敷設準備作業
- (4)錠設置規劃
- (5)敷設台船繫留
- (6)陸側配管敷設固定
- (7)取水管敷設
- (8)取水頭吊放沉設
- (9)錨錠撤除
- (10)敷設台船整備卸除

3、海上佈管工法適用性初步分析

深層海水取水管材多使用重量較輕之 HDPE 管，故佈管上多採用施工迅速之連續管路鋪設法，尤其以海面曳拉法與佈管船置放法為主要施工方式，國內亦皆有佈管成功經驗。分別就各種條件因素分析上述二種佈管工法於台灣東部之適用性如下：

(1)管路條件

深層海水取水管路主要採 HDPE 管，管路配重後多以海面曳拉法或佈管船置放法進行海上佈管，於國內外均有施工案例。故以 HDPE 管路條件而言，皆可適合海面曳拉法與佈管船置放法之施工作業，惟需注意接頭之抗拉力設計。

(2)海象條件

影響海上佈管之主要海象條件為浪高與海流流速，參考經濟部水資源局(1999)所研擬金門海底輸水管線海上施工作業之浪、流指標，建議佈管船置放法之作業浪高為 1.5 公尺以下、海流流速為 1 節以下，而海面曳拉法之作業浪高為 1.0 公尺以下、海流流速為 0.5 節以下。可見海面曳拉法之主要施工作業係於海面上進行，受到海象狀況影響較大，故所需海象作業條件較佈管船置放法為嚴格。以東部海域之海象條件而言，佈管船置放法之可工作日將高於海面曳拉法。

(3)陸岸腹地幅員

海面曳拉法之佈管作業主要將暫置於岸上之取水管路拖曳至海面後進行曳航及沈放，故陸地上需有足敷管路接合及置放之施工場地。反觀佈管船置放法之取水管路多先行盤繞於佈管船之捲盤上或於船上進行接合，對陸上施工場地之依賴較低。亦即陸岸腹地幅員限制對海面曳拉法之影響較大，而對佈管船置放法影響較小，故於東部海域佈管，陸上如無適當空地或沙灘可供施工場地使用，將較不適合採用海面曳拉法。

(4)施工船機配置

海面曳拉法之主要施工船舶為拖曳船、測量船及輔助工作船，於國內已具有相關船機設備與技術，而佈管船置放法之主要施工船舶包括敷設台船、測量船、錨船、平台運輸船、交通船等，以敷設台船在國內尚無此專業船機，多需仰賴國外廠商協助施工。故以施工船機之取得而言，如考慮由國內廠商完全自主施工，應以海面曳拉法較適合。

(5)適用性綜合分析

由上述各項評估因子，綜合評析海面曳拉法與佈管船置放法於台灣東部海域之適用性如表 3-2 所示。以海面曳拉法而言，適於 HDPE 管之佈設，且國內廠商可完全自主施工，惟需陸上施工場地及海象狀況緩和等施工條件配合；以佈管船置放法而言，亦適於 HDPE 管之佈管作業，而所需陸上施工場地及海象狀況等配合條件則低於海面曳拉法之需求，惟國內尚無專業佈管船，需國外廠商協助施工。

表 3-2 台灣東部海上佈管工法之適用性分析

評估因子	海面曳拉法	佈管船置放法
參考圖片		
管線條件	適用 HDPE 管	適用 HDPE 管
陸上施工場地需求小	適於浪高<1.0m、海流<0.5 節 (可工作日較少)	適於浪高<1.5m、海流<1.0 節 (可工作日較多)
陸岸腹地幅員	需陸上施工場地配合	陸上施工場地需求小
施工船機配置	國內可自主施工 (國內具拖曳船等施工船機)	國內可自主施工 (國內具拖曳船等施工船機)

整體而言，海上佈管工法之選用主要取決於海象因素、陸岸腹地可利用之幅員等狀況，對於東部海域佈管應就各開發案之海象條件、陸岸海濱腹地、工程費、計畫需求等考量，綜合評選最適合之施工方式。

3.3.3 .定位測量

在佈設管線時應利用一至少裝有海面及海下定位系統，適用於該海域之水下潛行器(ROV)、磁力儀、單音束與多音束測深系統及側掃聲納之測量船隻，進行測量以檢查管鋪設位置是否準確及有無可能之懸空。

施工範圍全程自近岸至離岸 150 公里內者，可考慮使用 Argo 與 Maxiran

等高頻至極高頻段之電子測距儀，其精度較微波頻段者低且容易受天候季節影響，穩定性較差。

GPS (Global Positioning System) 衛星定位測量乃是接收 GPS 衛星所發射之無線電訊號，以測定點位之三度空間坐標之定位系統。因此民間一些需要較高精度之導航應用，則需靠 DGPS(Differential GPS)或 RTK(Real Time Kinematic)之定位能力來提高精度。

1、水下定位技術

由於電磁波無法穿透水層，所以水下定位無法藉由全球衛星定位系統來達成。而目前水下定位方式可概分為慣性導航 (Inertial Navigation System) 及聲學定位 (Acoustic Positioning)，水下聲學定位主要包括長基線 (Long Baseline; LBL)、短基線 (Short Baseline; SBL) 及超短基線 (Super Short Baseline; SSBL) 等定位方式，其區別在於基線之距離。

2、取水頭定位

初步建議取水頭之水下定位應用超短基線定位法，其方法係佈設前於取水頭裝設超短基線之水下定位系統應答器(transponder)，於取水頭下水後利用工作船上之全球衛星定位系統(GPS)、船隻姿態收集器(motion sensor)及電羅經(gyro compass)等設備，配合溫鹽度之監測修正，以外部定位之方式精確計算應答器之水下坐標，即可確認取水頭之佈設位置。收發器(Transceiver)因附掛於船邊，故維護費較低，但由於應答器(Transponder)需附掛於取水頭上，在施工後取水頭已安裝於海床之某定點上，則受限於應答器電池之壽命，一般而言若一直保持開啟狀態可工作約 80 小時，但若採用大部份時間休眠，必要時叫醒再定位，則其工作時間約少於一年。因此可以採用水下潛行器(ROV)先將裝設於取水頭上之應答器取回後，再由 ROV 安裝新的應答器於取水頭上，以隨時監控取水頭所在之位置。

3.3.4 取水管材

深層海水取水管材之選擇除須依現地條件(如海象條件、海域底質、施工環境)選用適當之管材外，另管材之選擇與接頭型式及施工方法均有密切關係。海洋工程因工程費龐大、維護困難，在合理範圍內應儘量採用較安全可靠之材料。

依據台灣東部海洋環境，就美國與日本深層海水取水管材、國內製造能力及施工技術等提出說明：目前海底輸水管通常採用之管材種類有鑄鐵管、塑膠管、鋼管及混凝土管等四種，其主要用途有：(1)原油或成品油輸送，(2)天然氣輸送，(3)發電廠冷卻水之取水及排放管，(4)養殖場用水取水管，(5)污水海洋放流管，(6)海底輸水管線，(7)深層海水取水管。其中(1)~(2)項多採用小口徑之鋼管或可

撓性管，(4)~(6)項多採用鋼管、混凝土管、FRP 管或 HDPE 管，第(7)項則多採用 HDPE 管或 HDPE 管外纏繞鋼線強化與加重(如美國與日本兩國深層海水之取水管材)。上述管材在台灣均有製造生產廠商。而各管材之性質詳如表 3-3 所示。

表 3-3 海底輸水管常用之管材性質一覽表

管材	鑄鐵管	不鏽鋼管	混凝土管	塑膠管		
				HDPE	GFRP	PVC
單位長度	6M	5~10M	2.5M	10M以上	6~10M	6~10M
接頭型式	機械式 法蘭式	焊接 法蘭式	膠圍接頭	熱熔對接	機械、法蘭 對接、承插	膠接 承插包裹
內部特性	表面不光滑	光滑	表面不光滑	光滑	粗糙	光滑
強度	剛性	略具撓曲性	剛性	具撓性	稍具撓曲性	稍具撓性
使用年限	30年 (需防蝕)	30年 (需防蝕)	30年 (不需防蝕)	50年	30年	20年
防蝕措施	內外均需	內外均需	不需要	不需要		
施工方法	分節吊放	拖曳沉埋 分節吊放	分節吊放	完成全線後拖曳沉埋， 須配重抗浮及安靜水域供接管		
施工工期	最長	較短	較長	最短		
維護	不易	不易	不易	易	不易	不易
抗地震力	佳	佳	接頭易鬆動	最佳	佳	不佳

一、鑄鐵管

二、鋼管

三、混凝土管

四、塑膠管使用於海底輸水管多半以玻璃纖維強化塑膠管(GFRP)、高密度聚乙烯管(HDPE)等材質為主。

美、日兩國深層海水所選用之取水管材因海域條件不同，所選用之管材有所差異。如美國夏威夷因颱風極少，海象較為良好，加上深層海水用水需求高，採大管徑之管線設計，管材使用一般 HDPE 管，成本較為低廉。而日本因颱風及地震多，海象情況較為惡劣，管線內徑以小口徑設計方式為主，若取水量需求較大，則採雙管方式設計(如沖繩縣久米島)，為提高取水管線安全性，日本採用特殊設計之鋼線包覆 HDPE 管，除可強化管線強度外，尚可節省海中固定管線作業之費用支出。

台灣東部地區海域天候及海象條件與日本極為類似，地震及颱風均相當頻繁，目前在花蓮抽取深層海水之規模亦與日本相近，仍有許多地方值得參考。以 1989 年日本在高知縣設置之第一條深層海水取水管完成迄今，並無任何重大意外事故

狀況發生，在此期間每年均經歷 10 公尺以上強浪、颱風及地震襲擊，仍能維持良好操作情況。國內目前所能生產之 HDPE 管均係小管徑之管線為主，尚無生產大於 1 公尺以上之管徑，高密度聚乙烯管（自來水輸送用）的製造及檢驗法須符合 CNS 2456 K3012 及 ISO 4427 之標準規格制定，在管材的選用上應符合上述的規定。

四、有關深層海水穩定取水問題初步建議

- 一、重新通盤檢討我國深層海水產業發展整體規劃，依發展願景與目標，研擬具體推動發展策略與方案計畫，建立友善深層海水產業發展環境。
- 二、知本溪口深層海水場址之取水問題因應對策，相關建議如下：
 1. 建議由將成立之深層水協會邀請國內相關海洋及水下專家籌組專案小組，應再深入評估海床地質穩定及鋪設工法，重新評估知本溪河口場址之適宜性及探討深層海水管線失敗之原因作為後續重新鋪設之參考。
 2. 主管機關(水利署)應針對廠址海域地形、地質、河口輸砂、海象等深層海水場址海域環境背景資料，進行長期監測規劃調查。
 3. 重新評估最適深層海水管線路由區位範圍
 4. 河口輸沙(或土石流)對海域地形變遷與管線穩定分析評估
 5. 深層管線路由海床土層工程性質調查與分析
 6. 極端氣候與地震作用下海床液化與邊坡穩定分析
 7. 深層海水管工程技術規畫檢討評估
 8. 深層海水工程可行性規劃與海事工程施工規劃