

由兩個建港實例談抽砂造地工程之規劃及施工

劉彥忠

中華民國水利技師公會全國聯合會常務理事、水利技師

壹、前言

台灣地理環境有兩個特色，第一個特色為山多，如扣除法定山坡地之後，平地面積可能只剩四分之一，第二個特色為四面環海，因此築港工程在經濟發展之過程中，扮演了重要的角色，我們知道港灣建設必須利用海邊平地作為腹地來發揮其效能，在台灣，平地本就不多，再加上可使用之平地多已呈過度開發之情形，因此利用海埔新生地作為築港後之腹地，並可同時開發大面積之工業區，遂成為避開都市

土地價格高漲及兼顧環保意識抬頭之可行方案。

海埔地開發工程之規劃、設計、監造、研究、分析、試驗、評價、鑑定、施工、養護、檢驗及計畫管理等業務，本為水利技師之法定執業範圍之一，筆者將在本文中對海埔地開發中最重要之「抽砂造地工程」的規劃工作內容、要點及施工實務之步驟作簡要記述，並配合實例提供參考。

貳、工程規劃

一、自然條件調查

工址之自然條件包括氣象、海象、地象，抽砂造地工程規劃之過程中，這些自然條件才是主宰整個工程成敗之要素。氣象分為季風、颱風、雨量，海象分為潮汐、波浪、潮流，地象分為地理、地形、漂砂、地質等等，關於氣象、海象之內容及資料收集方法，在第十二期會訊「防波堤之規劃設計」中已有記載不再贅述，關於地象條件，需要在此特別說明者如下：

1. 海岸線及漂砂

(1) 港灣建設，耗資甚鉅，然其有效使用年限，却常因自然因素（如淤泥及漂砂）而大為縮減，致使其投資報酬率大為降低，甚或造成重大損失，故對於工址之原始地貌及其長年來受內陸河川排砂之影響，必須先行調查，以覓得可靠之砂源，並保證經抽砂造地之後的海埔新生地得以安全的作為建廠用地。

(2) 台塑麥寮六輕開發計劃案用地北鄰濁水溪南岸，南至新虎尾溪出口北側，（如圖1）

劉彥忠《由兩個建港實例談抽砂造地工程之規劃及施工》

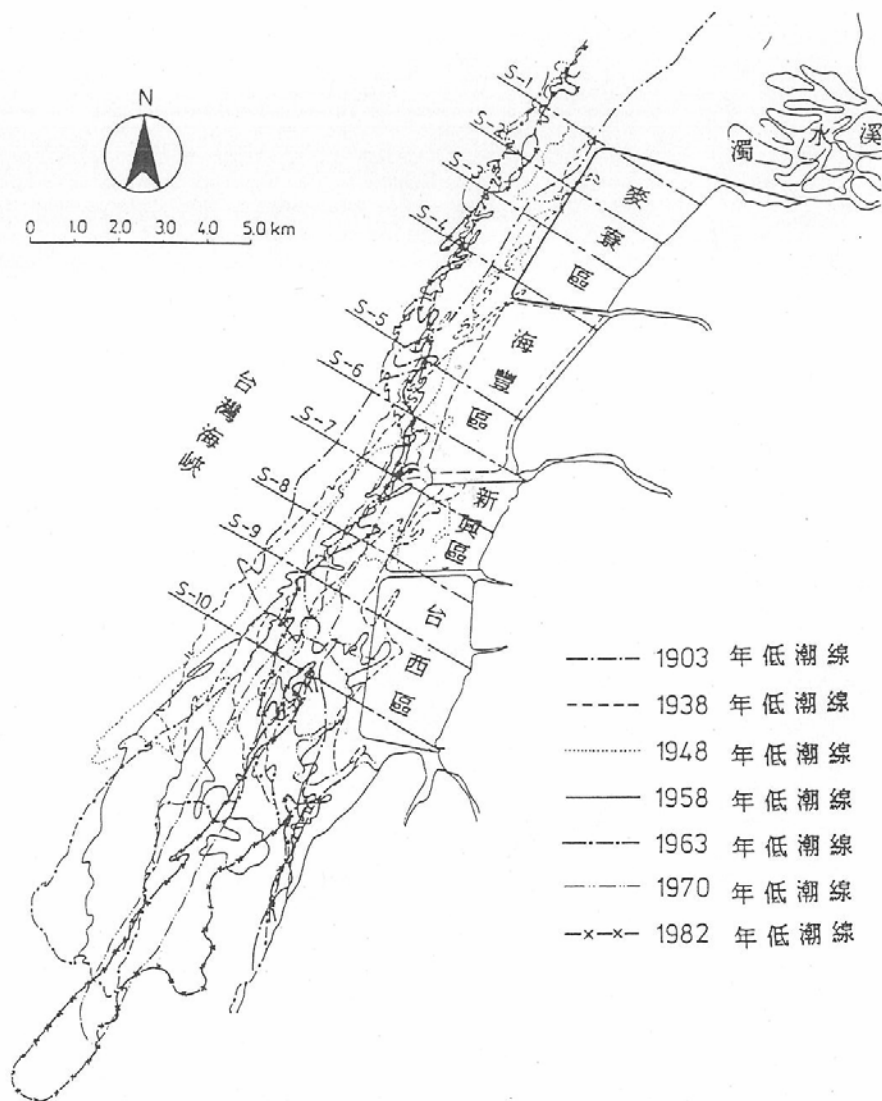


圖 1. 台塑麥寮六輕開發計劃案位置圖

劉彥忠《由兩個建港實例談抽砂造地工程之
規劃及施工》

南北長 8 公里，東西向外海延伸長約 3.5 公里，原始地貌大部份為 EL.0M 至 EL.+1M 之潮汐淺灘地，由地形圖顯示該區沿線有濁水溪、施厝寮大排、新虎尾溪等河川出海口，故雨季時，河川所挾帶之大量漂砂對海岸地，但本區主要來源仍為濁水溪之流砂，例如發生在民國 86 年 8 月 1 日賀伯颱風期間，僅三天之輸砂量即高達 5,698 萬 M^3 。

形有顯著影響，依調查資料得知，本基地沿岸漂砂之來源有以下三項：

- ①海岸本身受波浪侵蝕而逐漸坍塌產生之流砂。
- ②沿岸受潮汐漲退所隨流之泥沙。
- ③附近河川攜帶出海之泥砂。

濁水溪下游出口處之砂源區，其高程為 EL.+0.5M 至 EL.-2M 之趕潮段，對浚挖機具選擇及施工方法是最大挑戰

(3)蘇澳港北距基隆港 90 公里，南距花蓮港 75 公里，地理位置適中，且三面環陸，東邊面海，為一地勢優良之天然港灣，又因可帶動蘭陽平原之經濟發展，故被列入十大建設之一，為減少建港完成後蘇澳港內之淤沙，以維護港灣工程之效益，蘇澳港當局辦理「蘇澳港漂沙調查研究」按研究報告之分析：蘇澳港之淤沙來源有三：即①蘇澳溪之輸砂；②港區沿岸之侵蝕；③港外流入之漂砂。蘇澳港南、北兩面環山，屬頁岩、板岩等類土質，雖有時

難免風蝕剝離而成碎片，但其量甚微，且蘇澳港興建完成後，沿岸部份皆屬人工築成之岸壁，故由港區沿岸之侵蝕而形成之漂砂可予不計。又蘇澳港附近之近海水流甚弱，流速約在 1.5 節左右，流向東北，按港外漂砂岩方向應與港外潮流方向一致，而蘇澳港之北邊因有北方澳之突出山岬為屏障，故港外漂砂無法自港口漂入港內。是以蘇澳港淤沙之主要來源為蘇澳溪（如圖 2）之輸砂。

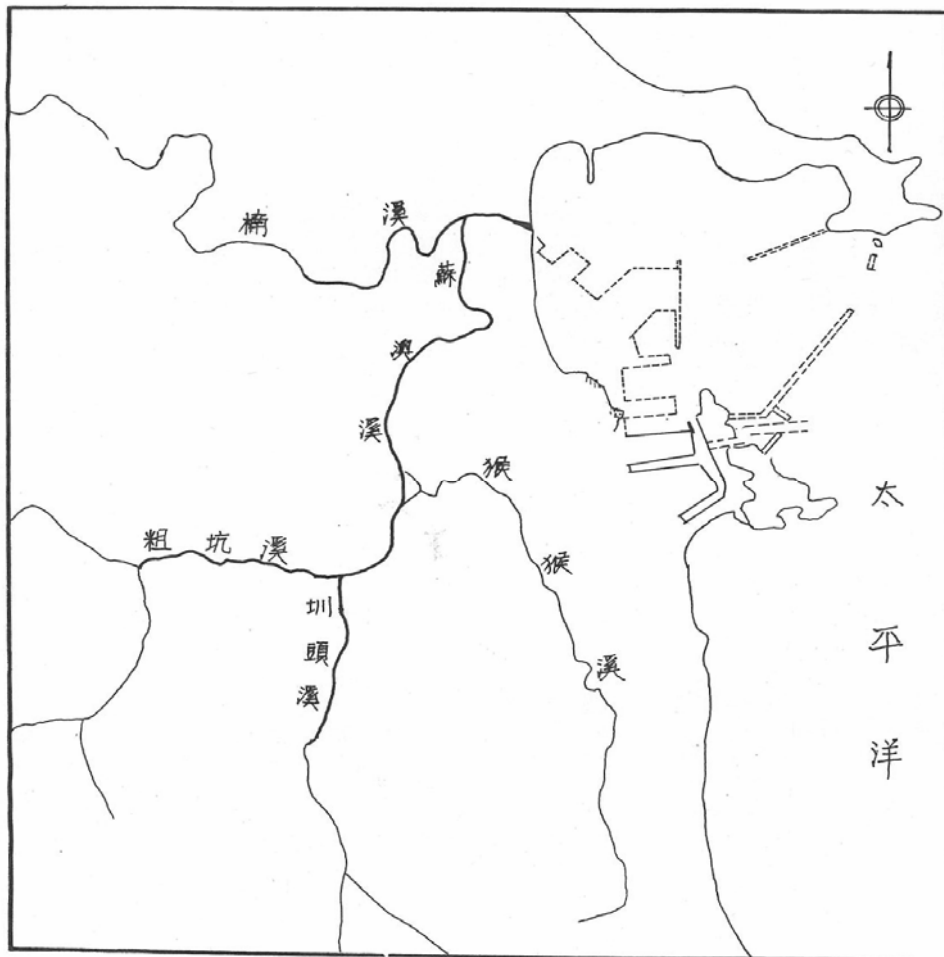


圖 2. 蘇澳溪與蘇澳港關係位置圖

劉彥忠《由兩個建港實例談抽砂造地工程之
規劃及施工》

2.地質

(1)必須對工址全區（含砂源區）作詳細之地質調查，以瞭解各種土層之種類及其分佈狀況，進而判斷其可能液化情況及承載力，對於回填料之選擇及日後建廠用地該採用何種基礎型式，均為必須具備之基本資料。至於土壤特性如孔隙率、凝聚力、堅實度及粒徑分佈等，更能關係到抽砂船、抽砂方式之選擇，進而直接影響到抽砂設備之產能。

(2)台塑六輕基地全區均為現代沖積層所覆蓋，在地表下 35 公尺以內主要以粉質細砂為主，原海床面之粘土層分佈在麥寮區為原地面以下 21M~23M 間，在海豐區則在原地面以下 16M~18M 間。回填造地後地下水位可達 EL.+2.0M~EL.+3.0M。這些淺層地質條件，完全符合液化傾向，經液化分析後，液化深度麥寮區大致為 10~13M，海豐區大致為 14M~20M。

若回填料中細粒料（通過 200 號篩或粒徑 0.07mm）含量小於 15%時，在回填作業中，經水力自然壓實，會成為相對密度介於 45%~55%的中等密度的砂質層。而中等密度的砂質層可承載力為 $2.55 \sim 10.2T/M^2$ （即 $25 \sim 100KN/M^2$ ），足以承載一般之輕基礎荷重；對於較重之基礎則需考慮土質改良法及樁基礎構造。

依港域土質調查報告顯示，在現況海床下 36 公尺內，部份地層含有 45% 甚至 90%的細粒料。在抽砂船於港域抽砂遇細粒料含量超過 15%不適合作為回填料時，皆需慎重處理以免造成

問題。

(3)海底地質影響浚疏作業至鉅，是以必須澈底明瞭海底地質情況，進而選擇適合該項地質之挖泥船型式與性能，以便控制工期，節省工程經費。蘇澳港因水域面積遼濶，海底地質調查採傳統之鑽探法與震波探測法（簡稱震測法）並用，以瞭解海底地質結構。

①鑽探法：

蘇澳港於民國六十七年三月，委託專業單位辦理「蘇澳港碼頭航道鑽探工程」，試驗報告顯示，迴船池部份地區地質之 N 值甚高，甚有大於 60 者，屬極緊密岩石層，第三船渠航道部份，其地質 N 值雖低，然以含有珊瑚之礁岩為主。是以此二區若單以抓斗或鏟式挖泥船作業，將無法達到預期之效率，決定採用炸藥先行開炸後再行清除方式施工。為使迴船池區挖泥作業順利進行，並於民國七十一年五月起再委託專業單位，辦理「第二船渠迴船池礁石區炸除第二期工程 B、C、D 區地質鑽探」以明瞭海底岩盤之標高，及海底岩盤之確切位置。

②震波探測法

蘇澳港於民國六十八年七月，為辦理第二船渠迴船池之疏浚工程，先期地質調查，委託專業單位，辦理地質震波探測工作，繪製連續地層反射剖面，用以判斷海底地質結構。

由震測地質剖面圖，顯示迴船池一帶，地質變化頗大，該區主要由泥砂、砂礫等未固結沖積層及礁岩、板岩等硬地層構成。泥砂及砂礫部份可以 Pump 型疏浚系統施工；對於礁岩、板

岩等硬地層部份，則以炸藥先行爆破後，再以 Bucket 型疏浚系統疏浚。

二、填地高程決定

1. 依「海埔地開發許可審議規範」第十九條「造地高程」之規定，一般計畫造地高程，除採機械排水或適當補救措施外，應在朔望平均高潮位（H.W.L）2公尺以上，或依暴潮設計水位酌加餘裕（以大於 50cm 以上）在此所謂之計畫造地高程，係指回填區回填後，原地層及填埋料達到最終沉陷後之高程，故初始之填地高程應考慮回填區海底原土層因填埋料增加後重量產生之沉陷，及回填層因填埋料自重產生之沉陷，再加上餘裕量，餘裕之決定應考量填埋層厚度、原海底地層條件、填埋料特性、回填區未來使用目的，及臨近地區地層是否持續下陷……等因素後決定之。適當的造地高程及完善之排水規劃，可避免淹水及海水倒灌之災害，因此決定造地高程須通盤考量下列各事項後慎重決定之：
 - (1) 排水方式—回填區排水方式，除採重力自然排水外，亦可輔以人工機械排水，或以加大排水溝渠及設置雨水調節池，加大雨水蓄容量，或其他方法以適度降低填地高程。
 - (2) 降雨強度及潮位—降雨強度、潮位高低、排水規劃與造地高程間有密切之相關性。
 - (3) 回填區地質—回填區地質條件會影響造地沉陷量，須審慎核算預估值。
 - (4) 回填區內土地使用計畫—回填區內土地，依使用目的之不同，其造地高程應有不同之考慮，規劃為居住或工

業用途之回填區，其填地高程應盡量提高，以免因排水不良或海水倒灌，造成生命財產之損失。

- (5) 其他—於地盤持續下陷之區域進行造地開發，其造地高程之決定應詳加考慮。
2. 台塑麥寮六輕基地屬海埔地特性之離島工業區，故填地高程主要考慮因素為潮位及區內排水，茲簡述其填地高程之決定經過情形如下：
 - (1) 潮流因素—該工業區平均高潮位（M.H.W.L）為 EL.+1.63M 依規範規定至少加 2M，故填地高程為 $EL.+1.63M+2M+餘裕高(0.3M)=3.93M$
 - (2) 區內排水因素—為避免高潮位又大雨時發生海水倒灌，影響工業區排水，區內排水系統經初步規劃並演算結果，在頻率 25 年洪峰流量及出水口潮位為大潮平均高潮位下，排水系統最高水位可達 EL.+4.04 公尺。根據以上各項考慮因素，該工業區造地平均高程最低應為 EL.+4.0 公尺；但在排水需要考量上，須加設出水口閘門，以避免於最高潮位或暴潮位時又遇大雨而造成區內淹水。此外，為防造地沉陷影響區內之排水，在造地施工時須將造地沉陷量列入考慮。根據填土厚度與沉陷量之關係分析，每填築一公尺厚度發生沉陷量約 17 公分。台灣西部沿海地區往後因地下水超抽所引起之地盤下陷亦需加以考慮，依預估，此長期之地盤下陷可以 50 公分作為終期下限量。最後該工業區初步定案以 EL.+4.5M

(含 10 公分碎石定砂) 為造地完成平均高程 (動力壓密後之高程)。

於民國 84 年 7 月, 發現麥寮地區地層沉陷實在嚴重, 考慮長期地層下陷影響, 為確保廠區安全, 全面提高廠區地面 30 公分, 由 EL.+4.5M 提高至 EL.+4.8M (含 10 公分厚碎石定砂)。因填地後經地質改良地面平均會下陷 60 公分, 未來建築殘土利用之填高量約為 10 公分厚, 故預先將設計填砂高程變更為 EL.+5.3M, 以確保動力壓密後之建廠地面可達 EL.+4.8M。

民國 86 年 1 月, 分析沉陷資料後發現海豐區因超抽地下水所造成之沉陷量, 可能較麥寮區為高, 故再委託專業單位對海豐區作詳細資料收集及沉陷分析, 推估出每年沉陷量約為 6CM/年。初步定案完成後之廠區地面高程為 EL.+4.8M, 此時一些相關評估資料列舉如下:

回填造地後地下水位

EL.+2.0M~EL.+3.0M

預期區內排水系統建立後地下水位

EL.+1.5M

設計地表高程 (經動力壓密後)

EL.+4.8M

若以每年 6CM 沉陷量估算 50 年後地表高程

EL.+1.8M

地下水位在地表下

30 CM

海豐區外海大潮平均高潮位

EL.+1.63M

最高潮位

EL.+2.56M

設計暴潮位

EL.+3.63M

依台西區水理分析 25 年頻率降雨及

暴潮時基地高程 > EL.+3.5M 不須抽水設施及操作閘門即可避免淹水高程 < EL.+3.5M 須以調洪池、防潮閘門配合抽水設施如再以每年 6CM 沉陷量計算, 約 22 年後可能需使用抽水設施。此時再考量到

①區域沉陷量漸趨緩的情形是否能持續

②是否尚有足夠之回填材料

③回填費用與日後增設機械抽水設施間之費用比較最後決定建廠時地面高程增高 60 CM, 即 EL.+5.4M, 造地填砂高程則變更為 EL.+5.9M (預留動力壓密沉陷量 0.6M 及建廠時殘土利用可填高量 0.1M)。

三、施工數量計算

依據基地地形水深圖計算浚挖及回填所需之數量, 作為訂定工期, 安排機具之基準, 如遇浚挖之地質有特殊狀況必須變更施工機具時, 更須將不同地質之浚挖數量分別計算。

麥寮工業區開發總面積約 2167 公頃, 填砂量約 6620 萬 M^3 , 後因總面積增為 2250 公頃, 高程亦增高, 填砂量增為 7124 萬 M^3 , 最後完工時之實作填砂量為 10915 萬 M^3 。

四、砂源規劃

1. 依「海埔地開發許可審議規範」第十五條 (借土區區位限制) 及第十七條 (抽砂作業) 之規定, 海底抽砂的最根本原則為維持海岸地形與海域生態系的穩定。在二原則下, 規範抽砂回填之一般規定如下:

- (1)平均低潮線向外海延伸二公里或水深二十公尺以內所涵蓋之區域內、河口、魚類產卵或養育區，及「海埔地開發許可審議規範」規範五之各項資源保護區，禁止抽取海砂。
- (2)外海抽砂區離海埔地堤線至少應在三公里以上(六輕工業區之抽砂範圍依環評承諾離岸十公里以上)。
- (3)抽砂期間，應持續監測挖砂作業對抽砂區及回填區之環境影響。
- (4)抽砂、輸送及填埋作業時，應採減低污染措施，並符合環境主管機關之空氣及水質標準。

且水力抽砂施工時，為保持相當之施工效率，抽砂材料必須能大部分皆沉澱於泥艙或填築區內，避免懸浮於水中隨之溢流，產生泥艙不易滿載及填築費時之情形，因此，選擇水力抽砂材料之基本條件便是不含過量之細粒料。細粒料含量少之材料其顆粒間膠結力亦不大，抽取時容易打散與水流相混，易於施工。抽砂回填後若有過多細料堆積，將形成軟弱且壓縮性大之土層，不適用於建廠，故含細粒料少之顆粒砂土較適合使用水力回填，且回填後較易形成高密度狀態。

- 2.六輕麥寮計劃案建廠範圍涵蓋雲林離島工業區之麥寮、海豐二區，回填砂料數量龐大，專用港土質經鑽探分析結果，極適合採水力抽砂回填施工，規劃主要砂料來源有二：
 - (1)闢建工業區專用港時，浚渫港域及航道之砂料。
 - (2)疏濬濁水溪出海口所浚挖的砂料。
- 3.蘇澳港三面環山，東面向海為一天然港

灣，所需堆貨場、道路、建築等港埠用地，皆靠填築而來，約需填築新生地面積 82 萬 M^3 ，土方約 526 萬 M^3 。由於港內海底大部份是礁石、沉泥，缺乏可供回填之海砂，無法以抽砂船作業方式回填新生地，因此須於陸上選定適當之取土場，供應所需土方。填築所需材料，來自港區後側之砲台山，新城溪下游及白米溪上游河床三處；前者土方以輸送帶運送為主，後兩者則以卡車載運。砲台山以輸送帶將山上土石輸運至港區新生地，完成填土方式約 400 萬 M^3 此法得地利之便為工程師就地取材成功之範例，因限於篇幅，容後專章詳述。附近百米溪、新城溪係以傳統卡車運輸，完成填土方約 120 萬 M^3 。真正疏濬港池，航道及碼頭基礎之浚挖回填量約 370 萬 M^3 （其中 30 萬 M^3 為以開炸礁石、硬岩方式取得），其與麥寮以水力抽砂之方式取得大量回填砂料之情況是大異其趣的。

五、機具及浚填方式選用

在選擇回填方式及濬挖土機機具前，應先對影響抽砂造地作業的各項因素，做深入研討，評估優劣，以決定最適當機具。

故確認填砂數量、抽砂範圍及計劃工期需求後，首先應對濬挖區地形圖及詳細地質資料深入探討，了解確實可抽砂數量、適用之抽砂船機及其工作能力，同時需考慮各種不同季節，配合造地進度，提供抽砂船良好之掩避保護，使其不受季風影響，以確保施工進度。

1.浚挖機具及施工方式

浚挖作業的機具可分為機械式、水力式及壓氣式等三類，其中機械式的挖

劉彥忠《由兩個建港實例談抽砂造地工程之規劃及施工》

砂船有抓斗式、鏟斗式、鏈斗式；而水力式的抽砂船有吸管式、絞刀吸管式、沖水吸管式、耙吸式。

壓氣式的抽砂船有壓氣幫浦抽砂船。

(1)機械式 (Mechanica)

用機械之原理及方法(通常為各種挖掘斗)，自海底挖砂裝斗並提出水面，然後開斗卸於駁船 (Barge) 或船艙，故又稱為斗式。

此類挖砂船有鏈斗式 (Bucket Dredgers)、抓斗式 (Grob Dredgers)、鏟斗式 (Dipper Dredgers) 及掏挖式 (Backhoe Dredgers) 等。

機械式挖砂船適合硬粘土或岩石等地質的浚挖區，其中鏈斗式挖砂船以浚挖硬質土壤效果比浚挖岩石為佳。若浚挖區為岩石時，必須先進行水中爆破，對於珊瑚礁和多孔且不平整之結晶狀岩石組織，可將炸藥置入孔洞中再佈線引爆；對硬岩石則須先鑽孔，再裝炸藥引爆，其鑽孔深度、間距依陸上爆破方式計算，但水底鑽孔有時需架設水上鑽台，費用較多。岩石經爆碎後利用挖砂船將碎塊撈起運棄。

(2)水力式 (Hydraulic)

使用機械方式或沖水法使水下土層被切割破碎、沖散之後，利用抽砂幫

浦及輸砂管，以水力吸引方式，自海底將水下砂土吸取送出水面，並排放於泥艙或回填區 (或棄置區)，故又稱為吸式。

此類抽砂船有抽吸式 (Plain Suction Dredgers)、耙吸式 (Hopper Dredgers) 及絞刀抽吸式 (Cutter Dredgers) 等。浚挖區為軟質土壤時，即泥質土壤、粘土土壤、砂質土壤及礫石土壤，宜適用吸式抽砂船作業，在吸管頭前端用絞刀或高壓水沖方式攪鬆土壤使與水混合，再以吸管吸取壓送，輸引至棄置地點。

(3)壓氣式 (Pneumatic)

此法係以壓縮空氣之能量使水底泥沙進入抽砂管道，並排送至指定區域。

浚挖區為軟質土壤時，適宜使用此類抽砂船作業。

2.浚挖區土壤特性與其適用之浚挖機具
抽砂區之土壤性質直接影響抽砂船之效率、產能、機具磨損及抽砂成本，甚至能決定抽砂工程之成敗。而抽砂工程所探討之土壤特性著眼於水下土壤受機械切割、破壞、掘取輸送等之難易程度，故現今一般之土壤分類法實較難反映浚挖土壤之特性。茲將各種土壤及適用之抽砂船機詳列如下表

土 質			適用 船 機	備註
分類	狀 態	N 值		
粘 土 質 土 壤	軟 泥	4 以下	↑	P：吸管式抽砂船
	軟 質	4~10	G	
	中 等 質	10~20		G：抓斗式挖泥船
	硬 質	20~30	↓	
	最 硬 質	30~40	碎 ↑(G) ↑ D ↑	D：鏟斗式挖泥船
	最 硬 質	40~50	P ↓ ↓ ↓ ↓	
砂 質 土 壤	軟 質	10 以下		碎：碎岩船
	中 等 質	10~20	G ↓	
	硬 質	20~30		()：碎岩或爆破後適用之挖泥船
	最 硬 質	30~40	碎 ↑(G) ↑ D ↑	
	最 硬 質	40~50	↓ ↓ ↓ ↓	
礫混合粘 土 質 土 壤	軟 質	30 以下	G ↑ ↓	()：碎岩或爆破後適用之挖泥船
	硬 質	30 以上	碎 ↓(G) ↓ D ↓	
礫混合砂 質 土 壤	軟 質	30 以下	G ↑ ↓	()：碎岩或爆破後適用之挖泥船
	硬 質	30 以上	↑ ↑ ↑	
岩 盤	軟 質	40~50		()：碎岩或爆破後適用之挖泥船
	稍 微 軟 質	50~60	碎 (G) ↓	
	中 等 質		↓ ↓ ↓	
	硬 質			
	最 硬 質		↓ ↓ ↓	
礫 石	不 太 硬		G ↑	()：碎岩或爆破後適用之挖泥船
	堅 實		↓ D ↓	

3.排砂方式選擇

抽砂作業方式可分為直接排放及多次排放，其搭配船隻型式及作業方式摘述如下：

(1)以耙吸式抽砂船直接拋放

本法係採用耙吸式抽砂船，於抽砂區將砂料抽吸至船艙，於滿載後載運至回填區或棄置區直接拋放。

由於本法係以底開式抽砂船將船艙中之砂料直接拋放於回填區或棄置區，因此對於水深之要求須十分注意，以免艙門開啓時接觸海底，影響拋泥作業之進行。

採用耙吸式抽砂船作業時，由於其大

多為自航式，故機動性高，因此抽砂範圍較大，且抽砂區可隨時變更，不受限制，在航行距離愈長時，愈可顯現其經濟性。

(2)以船上幫浦直接將砂料加壓輸送至回填區或棄置區域

本法與方式(1)相同，均以耙吸式抽砂船於抽砂區將砂料裝於船艙後，運至回填區或棄置區拋放。唯一不同者，方式(1)係直接拋放而本法則以船上幫浦加壓後直接輸送至回填區或棄置區。

抽砂點之選擇及陸上輸砂管接駁方式均需視當地波浪、潮位、海流及氣

劉彥忠《由兩個建港實例談抽砂造地工程之規劃及施工》

象條件而定。

- (3)以耙吸式抽砂船拋砂於暫置區，再進行二次排放（Rehandle Pit）

本法係以耙吸式抽砂船將泥艙中之砂料傾卸於暫置區，再以固定式抽砂船將暫置區中之砂料壓送至回填區或棄置區。

當耙吸式抽砂船缺乏自卸設備或需要更大泵送馬力及輸砂量需求高時，採用本法為一相當經濟有效之解決方式。

一般而言，暫存區之固定式抽砂船其工作量較耙吸式高，因此，採用此一作業方式時，可同時使用多艘耙吸式抽砂船繼續不斷地將泥砂拋放於暫存區或兩者做適當調配，讓暫存區之抽砂船抽送至回填區，以配合該抽砂船之高工作量。

暫存區與回填區之距離應該愈短愈好，同時其容量應能配合抽砂船之最適當處理能量，方可使該方式之效率達至最高。同時，暫存區之範圍需有足夠空間，以供耙吸式抽砂船安全地拋砂，避免因空間不夠而產生船隻互讓之現象。

採用此一作業方式時，暫存區需分為二大區，一區為耙吸式抽砂船之拋砂作業；另一區則為固定式抽砂船之抽砂作業。其作業步驟須避免相互干擾，而影響該方式作業效率及安全性。

- (4)駁船載砂至暫置區，再進行二次排放
本法係以駁船將抽砂區所抽吸之砂料拋放至暫存區中。

此一作業方式僅限於海象條件十分

良好之條件下，允許駁船能安全航行於抽砂區及暫存區之間，並保證抽砂船能在長時間內安全無慮工作。暫存區之作業如同方式（3）所述，暫存區之置放容量及抽砂區之產能須互相配合。

由於利用駁船取代耙吸式抽砂船作為運送機具，其水深不需太深，因此暫存區位置之選擇應儘量靠近回填區或棄置區，此一結果將使泵送距離減少，其工作能量將相對提高。

- (5)以噴嘴直接噴砂至回填區

本法係以自航抽吸抽砂船將所抽吸之砂載運至回填區後，直接以船身之噴嘴噴出砂料。

採用此方式主要係用於緊急填砂或養灘時，並且大都在天氣狀況良好時為之。由於其流失率過高，相對費用亦高。

- (6)直接將砂經由輸砂管泵送至回填區

此方法係以抽砂船直接將砂經由輸砂管泵送至回填區。

採用此法時通常為抽砂區距回填區較近距離時，所使用之抽砂船則視當地條件及地質狀況而定，由於抽砂區緊臨其附近，因此可設置多處抽砂區，減少其泵送距離。

六輕砂源區均為現代沖積之砂質土壤最適宜使用絞刀抽吸式及沖水吸管式抽砂船施工。且抽砂區與回填區距離均在7公里以內最適合方式(6)的輸砂方式。

六、回填規劃

- 1.回填作業的規劃對新生地的使用有極大影響，因回填料的品質管制及回填壓

實度，直接影響地面上構造物設計所需之地耐力及穩定性。

依海埔新生地填築作業特性，先期須興建不同之設施，以配合填地作業之進行，其主要之配合工程如下：

- (1) 規劃各回填區，並研擬各分區填築順序。
- (2) 依規劃之填築順序，先興建部份堤防，其長度以能保護回填區不受波浪侵襲為原則。
- (3) 興建分隔堤，完成回填區分隔並開始回填作業。

分隔堤係配合採用分期分區開發填築時，為了隔離各回填區，所興建之臨時堤防；由於分隔堤並非一永久性之結構物，且位於海埔地外圍堤防之遮蔽區內，故可採用較經濟之斷面，或施工材料較易回收之重力式結構物（如採用方塊堤等）。

分隔堤除用為隔離各回填區及防止回填區之填料流失外，並可規劃做為臨時施工道路，如果回填作業分區能配合建廠街廓做適當之規劃，亦可將分隔堤預留作為將來之正式道路使用，免去將來道路基礎工程施工之困擾。

- (4) 採抽砂回填作業時，為防止抽砂回填之迴流水直接流入附近海域造成海域污濁，須將迴流水導入沉澱池中，經沉澱後再行排放，沉澱池之大小視排水量及含泥量而定。
- (5) 在進行回填作業時，可同時進行海埔地外圍堤防及其他分隔堤之興建。
- (6) 為確保回填作業之工程品質，在完成第一區填地後，應針對其回填之速率

及效果，進行試驗及評估以作為其他回填區填築作業之參考，特別是沉陷壓實及環境生態受影響及變化等情形。

2. 填地作業流程依作業區氣、海象條件、回填料種類、未來使用目的等因素可能有所不同，可視各別狀況適度調整之。在回填工程中除了須考慮粒料、壓實外，尚須對迴水迴流池、溢流口、圍堤構築位置及大小、輸砂管配設、填區高程控制等加以規劃，以提高工作效率。

3. 麥寮六輕工程濬填方式採前進加管式，分期分區施工，且於一封閉之圍堤區域內進行填地工作，以免排砂後所析出之迴水四處漫流。分期分區規劃原則如下：

- (1) 配合現況之舊堤
- (2) 配合施工便道及海堤護岸之進度
- (3) 儘量縮短配管長度
- (4) 施作圍堤設施及減少海域污染
- (5) 細粒料之處理

施工方向原則上由東（陸地）向西（海域）之方向填築，藉東高西低之自然地形控制水流及細粒料往沉澱池方向排入，再經由沉澱池迴水排放設施及攔污網處理後，方可排放出海。

七、施工數量計價方式

抽砂造地工程計價方式有以下方式：

1. 若為船載方式，數量依載運量核算。
2. 若為輸砂管排填，可測量填區原地形，依填區填方核算。
3. 依浚挖區浚挖前、後測量海床高程，核算浚挖數量。

在現代抽砂船上均裝設有抽砂量自動偵

測儀器表，利用放射性元素原理，自動偵測砂水混合液濃度及管內流速，換算產量，但因易受干擾，使抽砂數量不正確，僅能提供參考。因此，訂立合約時必須雙方擬定一共同的浚挖及回填數量計算規則，以免產生相當大的數量認定差異。麥寮六輕工程之計量採完成填築量計算。

八、防風砂方案之研擬

麥寮六輕工業區位於台灣西部最突出的地方，常年受海浪與風砂的衝擊及侵蝕，每年十月至翌年三月長達六個月之東北季風，高達八級的風速刮起風砂，能見度不及十公尺。而新造陸地之表土在回填後三至五天內乾燥，如不施予防護，將無法抵抗強風吹襲而層層漂移流失，使辛苦填成之陸地表面在一日之間吹失十至二十公分厚。為確保填砂完成後表層之安定，台塑企業曾於當地實地依下列材料作路基及定砂試驗：

1.化學藥劑：容易剝落、附著力差。

2.播種草種：時效慢，且受季節限制。

3.水泥漿噴佈：厚度控制不易，易龜裂，不堪輾壓。

4.爐石渣定砂層：適合定砂，材料來源較少。

5.底灰渣定砂：適合定砂，材料來源較少。

6.蚶殼定砂：適合定砂，材料來源較少。

7.石灰石定砂：適合定砂，材料來源較少。

8.3~8 公分碎石定砂：適合定砂，且材料來源充足。

9.鋪山級配定砂：表面之粘土層容易被風吹起形成飛塵。

歷經兩個冬季之觀察，以採用 3~8 公分碎石定砂成效最佳，材料來源亦最充足，且定砂之碎石在建廠期間亦可彙集作為級配使用，一舉數得；且在配合建廠進度進行地質改良時，可將碎石防風砂覆蓋層刮移堆積，待地質改良後再移回鋪設，節省材料，另以發電廠所產生之底灰渣及煉鋼爐石渣作為定砂材料，使用後效果甚佳。

參、抽砂造地前置作業

一、定義：前置作業主要為提供後續大規模抽砂造地工程所需的施工場地、臨時施工碼頭及分區之圍堤和施工便道等等的作業事項之籌劃及構築過程均稱之為前置作業。

二、內容

1.測量—全區之平面及高程控制測量均必須依內政部既有之三角點及控制點為基礎，經檢測合乎經度要求之後，引測至基地內並埋設成永久樁位，作為日後施工放樣及直接水準施測之基準點，並每隔三個月定期檢核校正。

2.填築施工場地—施工場地係作為抽砂造地工程及後續築堤、建港工程之前進基地，一般均先利用舊有堤防或道路填築小面積之新生地做為小型抽砂船（8”、10”、14”管徑）設備組裝、維修保養及抽砂管、工程材料之堆置場地，並作小型抽砂船油、水補給基地及臨時避風港之用。工程初期無砂土供作臨時圍堤，故均採抽砂填海墊高部份海床，再以挖土機利用退潮時挖砂填築臨時堤故初期砂土流失量非常大，因施工場地多位處於海中孤島，每天受風浪、

潮汐侵蝕，為保護新生地，在基地四週必須施作砂腸護岸、PVC 蛇籠護岸，以維護回填砂料免於受海浪沖刷流失。一般抽砂造地接管多採用推進方式填砂，需待填砂完成達一定面積後再拆遷管路，推平整地，並以碎石級配覆蓋定砂，否則砂土將遭風蝕導致完成面高程不足。

3.圍堤及施工便道填築—本作業係為爾後分期分區填砂造地的先期工作之構築，概分為以下兩類：

(1)砂堤

填築堤身：於退潮時段，利用推土機及挖土機於原始海床推、挖砂土，填築堤防雛形。

邊坡保護：將砂堤海側整修成 1：6 邊坡後覆蓋不織布，上面再以 PVC 蛇籠保護。將砂堤陸側整修成 1:2.5 邊坡並覆蓋不織布保護。

堤上便道：道路路基先以不織布鋪設，再鋪設天然級配及碎石級配各 30cm 後壓實整平。

(2)拋石堤

鋪設不織布：堤基範圍內原始海床上，鋪設不織布並固定使不被潮水沖走。

拋石築堤：拋 20cm~40cm 直徑之卵石構築堤身。

邊坡保護：海側陸側均以 1：2.5 邊坡並覆蓋不織布保護。

堤上便道：同砂堤施工方式。

4.施作施工碼頭—前述小型抽砂船之進場是以填築施工場地、圍堤及施工道路為主，但正式之抽砂造地工程開工時，必須先行施作大型抽砂船之運補基地，以作為工作船停泊，人員日常上下抽砂船及油、水、食物補給之基地。

5.船機準備—一般抽砂造地工程之浚挖作業分為港池、航道及河流出口浚挖，因土壤性質、土方量、浚挖深度、工期長短及輸排砂距離，甚至建港初期之海象、氣象，均影響施工方式及船機之選擇。台塑麥寮六輕案填量大、工期短，軟質砂土之砂源、浚挖深、輸排距離短（平均約 4KM）之情形下，選用中大型吸管式抽砂船被證明最佳，但為免受國內外大廠商聯合圍標，且能全力掌控填海造地之順序及進度，又能降低成本，乃委由本國專業廠商向荷蘭 IHC 公司訂造兩艘吸管式抽砂船（PSD）再搭配國內數艘中大型抽砂船為輔，即開始進行海上大規模抽砂作業，該兩艘吸管式抽砂船每艘總動力 7425KW，抗浪 2.175M，最遠排砂距離可達 10KM，最大抽砂量曾達 70000 M³/日相關資料如下表：

長度	寬度	深度	總噸位	起重	抽砂深	建造日	吃水深
69.22M	14.9 M	4.25M	1379 T	2 T	34 M	83 年 4 月	2.15 M

劉彥忠《由兩個建港實例談抽砂造地工程之規劃及施工》

肆、擬定施工計劃

大型抽砂造地工程均屬規模宏大，施工前若無完善之施工計劃，勢必無法順利進行及如期達到需求時程，更何況尚有環保、工安等問題，在在均需要周詳之施工計劃。

一、測量計劃：包括港區及回填區的導線測量、高程測量、地形測量及河流出海出口浚挖區測量。

二、港域浚挖計劃：港域浚挖進度係配合港池週邊海堤及防波堤之工程進度，及其所能提供對東北季風風浪的安全遮蔽範圍來決定抽砂浚挖順序，茲說明如下：

1. 施工安全區域－根據季風風向及現有護岸碼頭遮蔽現況判斷，劃定「抗浪安全界限」為安全施工區域。
2. 安全距離－港池內之碼頭、護岸、防波堤等工程尚未開始施工或施工中尚未完成時，則依海床自然平衡坡度核算後，訂定距離 200M 為安全距離，在此範圍內不可抽砂作業，以保護堤基安全。
3. 浚挖影響半徑 100M，土壤安息坡度 1：12（依抽砂後測量而得）
4. 施工順序－由內陸向外海逐步浚填。
5. 防颱計劃－颱風來襲時，抽砂船、工作船拖至附近港口避風，海上浮管拖至下風處海域，並下重錨求穩定，沉埋管則加錨固定。

三、河流出海出口浚挖計劃：

1. 輸砂管佈設：輸砂管分為海上浮管、沉埋管、陸上輸砂管三種，與抽砂船銜接處為海上浮管，海床則

佈設沉埋管，上岸後則佈設陸上輸砂管。

2. 疏濬程序：抽砂船必須於高潮位時進入疏濬區（航道自挖），再依疏濬順序作業。

3. 斷面控制：先引測施工確切位置再依邊坡坡度測定開挖線（均須安放海上浮筒標示），疏濬區邊坡採 1：10，疏濬海床允許誤差為正負 50cm 以內。

四、回填造地計劃

1. 測量計劃

(1) 由填區外之三角點及水準點導引至工區並設樁。

(2) 將填區周界、管線路徑、沉澱池、尾水排放設施等測量放樣。

(3) 測繪回填區及浚挖區之原地形圖。

(4) 填地完成後 100 天測繪造地完成面高程。

2. 填區內施工道路－初期利用既有便道，施工中陸續鋪設臨時道路，以利填區人員機具材料進出。

3. 分區填土細部計劃

(1) 填土分區平面配置－為達到規劃進度之要求，同時考慮施工效率、抽砂船吃水深、風浪、潮位與施工之關係、船機運轉及移位之需求、排砂之經濟距離、挖填各區土方供需之平衡、沉砂池及迴水排放口設置位置選定等因素，將初步規劃分成數期來開發（麥寮六輕案在此前提之下即分為五期開發）。

(2) 分區填土施工方式－填砂作業採前進接管排砂方式，依回填分區規劃

及用地需求時程，依序構築，同時施作臨時圍堤分隔填區以提高每一小分區之填砂效率，且可規範迴水之流向，使之導入防風林或綠帶，提供細粒料滯留及沉澱之場所。

- (3) 沉澱池及迴水排放設施—迴水之排放控制藉重於 WATER BOX，其可自由調整之溢流面控制著沉澱池之有效容積，進而控制迴水排放之濁度（必要時可再加裝攔污柵）。
- (4) 細粒料及廢土處理—大部份之細料先在沉澱池內沉積，再利用挖土機、卡車運棄於防風林及綠帶預定地。
- (5) 防颱應變計畫—陸上機具向高處停放。
- (6) 管線使用計畫—茲以實例說明管線應採購之長度 L KM
基本條件：鋼管（厚度 16mm）之磨損率約 1000000 M³ 磨損 1 mm，堪用之鋼管厚度至少 6 mm（即容許磨損量為 10 mm），每支鋼管如不轉向使用，可完成約 10,000,000 M³ 砂土，一般可轉向三次使用，則每支鋼管可完成約 30,000,000 M³ 砂

伍、抽砂工程

一、海上佈管方式

1. 潮間帶淺灘區—使用每支長 12M、直徑 700mm、厚度 16mm 的輸砂鋼管，載運至預定路線卸下，再利用人工及機具組裝並與海上浮管銜接，配合潮汐佈設，但管底砂灘要整理平坦。

土。

實例條件：某工程設計浚砂量 72,000,000 M³，抽砂船 2 艘，每艘抽砂船必須完成約 36,000,000 M³ 砂土，但每組鋼管僅可完成約 30,000,000 M³ 砂土，故每艘抽砂船必須準備 2 組鋼管（每組鋼管長度 = 排距 = 7.5 KM），故本工程應採購之長度 $L = 2 \times 2 \times 7.5 = 30 \text{ KM}$

五、品管計畫：下列各項資料必須齊備

1. 施工日報表—內容包括操作、抽砂、停機之時數、抽砂數量、吸管深度、抽砂位置、回填數量及面積。
2. 回填料採樣分析—內容包括採樣時間、地點、樣品處理過程及篩分析報告圖表。
3. 品質保障及管制計畫—如何檢視是否依計畫書執行各項工作。
4. 地形及水深測量—分別在回填區及抽砂區作定期水深斷面測量。

六、環保計畫—環境污染來源主要有空氣、水、固體廢棄物、廢油等，抽砂船為無動力工作平台且備有合格污水處理系統及油水分離器，較無污染之虞，另對海域及迴水排放口必須實施定期及不定期水質取樣化驗。

2. 水深海域區—因水深，鋼管漂浮海面，故採用沉埋管施工，每段焊接成約 300M 兩端密封後，利用漲潮時段，將鋼管置入海中，以拖船拖至預定地點，接浮管及陸上管後沉放於海床上。

二、浚挖區測量—主要為作砂源總量計算

之依據，及抽砂船行進路線之規劃，因抽填土方平衡至為重要，故施工前浚挖區全面測量為計算土方不可忽略之工作。

三、浚挖抽砂

1.訂定施工安全準則—在港域及航道浚挖時必須配合防波堤及碼頭之施工進度，並謹慎考量抽砂最大有效深度對防波堤及碼頭等海中構造物的最小安全距離，以免造成構造物海床地形劇烈變動。(有遮蔽海床平衡坡度為 1:6~1:8，無遮蔽海床平衡坡度為 1:15~1:30)

2.抽砂船定位—抽砂船須由外海水深處進入淺灘區，期間清理航道所抽之砂，須就近排放。

四、抽砂方法

1.吸管式抽砂船—抽砂造地初期以吸管式抽砂船為主，將吸管由上而下漸進式深入砂層內，抽吸成一個凹陷區，讓周圍砂土崩塌，此砂土及水之混合液再由輸砂管線以高速壓

送至回填區，再將吸管移位如此循環作業，若遇黏土層，邊坡土壤不會崩塌，此時則須改用絞刀式抽砂船 (Cutter Suction Dredger)，若土層為優良級配料時，須先以高壓水柱沖散再進行抽砂。

2.絞刀式抽砂船—為抽砂造地中後期配合海床整平、整坡之用，此抽砂船於吸管口加裝絞刀將較硬土質予以刨削或耙鬆，以便隨水吸入後壓送，惟遇含礫石之硬土層時效能降低、管磨損加大。

3.耙吸式抽砂船—係由船側所安裝之吸管絞刀或泥耙 (Drag Head) 將海底泥砂耙鬆後以吸泥泵之吸力將泥砂吸起裝入船上泥艙中，再運往排泥地點。此型抽砂船概分為繫泊式 (Mooring Suction) 及拖耙式 (Drag Suction)，前者為定點挖泥後自航外海拋放，後者吸管裝置泥耙，一面航行一面吸泥後自航外海拋放。

陸、造地工程

一、填區測量—回填區開工前須先做地形測量，以用於數量計算、計價、管制及進度安排、管控。

二、地上物清除—填區內任何型態之雜物及即有設施包括工棚、雜草、樹木等均應加以清除以免影響造地施工。

三、分期分區臨時圍堤—由於造地幅員遼闊，若不以分期分區填砂，則無法完成預定進度，更會造成細粒料集中於下游，產生厚軟弱土層更難處理，要減少細粒料集中沉積，最佳之途即為

以圍堤間隔成小區域，並構築迴水路及沉澱池，使細粒料集中於防風林或綠帶。簡易圍堤施作方法為利用挖土機於輸砂管出口挖砂築堤，再於堤側覆蓋塑膠布保護，並於下游處設置一處溢水閘，即成一臨時圍堤。

四、沉澱池及迴水排放設施—輸砂管排送之砂水混合物，其中水佔約 70~80%，為使排送過程砂料不流失，因此圍堤所圍堵之填區應達所需之沉澱池空間，並設置可調節的溢流排放設施

來有效控制填區內水位。沉澱池係利用 WATER BOX 阻擋水流，增高蓄水位，增大積水面積，減低流速，讓懸浮顆粒有充分時間沉澱後再溢過 WATER BOX 排入大海。

五、WATER BOX 設置方式

1. 構築臨時圍堤時先預留缺口或挖開施工便道，置放加工預製完成之閘

門外框。

2. 埋設排水鋼管，鋼管數量依集水面積大小，水力計算而得。

3. 鋼管上部覆土回填並做好邊坡保護。

4. 填砂作業時，利用擋板調節沉澱池水位，使迴水充分沉澱並在檢驗合格後溢過擋板排出。



照片 1 WATER BOX 使用中

六、沉陷板安裝—為瞭解抽砂填地後地層壓密沉陷的變化包括地表沉陷量、驗收前應預留之壓縮量等精確數字，並據以計算出實際應填砂之數量，以達成砂源平衡之目標，故置放沉陷板以求取實際資料加以應用。沉陷板設置應注意事項：

1. 沉陷板的高程須從抽砂造地施工中地層沉陷可能影響範圍之外的高程控制點引測。

2. 沉陷板設置時應有明顯標誌並保護。

3. 填區之沉陷板宜作全面性設置，並將位置記錄，以便隨時補設。

七、陸上管佈置—陸上管包括主管及支

管，有效率運用既有數量之鋼管以佈置主要填區的管線，盡量減少拆遷的次數及安排最短的排砂距離。抽砂主幹管沿著便道及圍堤佈設，便於運輸及施工，支管則利用叉管及閘閥自主幹管分支接至填區。佈管應注意：

1. 配合路基及定砂工程之進度將輸砂管逐步延伸，必要時埋入地下，以不影響車輛出入及不受重車壓損為原則。

2. 輸砂管之高點須設置空氣釋放閥，以便將管內空氣排出。

3. 管路接頭須密合及確實固定，以防止螺絲遭高壓水流切斷後，嚴重影響抽砂效率。

劉彥忠《由兩個建港實例談抽砂造地工程之規劃及施工》



照片 2 抽砂鋼管排設



照片 3 抽砂管接續（一）



照片 4 抽砂管接續（二）

劉彥忠《由兩個建港實例談抽砂造地工程之
規劃及施工》



照片 5 抽砂管佈置完成並設置警示燈



照片 6 抽砂填地

八、填砂

- 1.風蝕及沉陷量預估—台灣西海岸地區經實際資料匯集分析後，發現填砂時需預留 25cm 厚度，才能在 100 天後驗收時保持在設計高程以上。
- 2.圍堰構築—由抽砂船抽排至填區的砂水混合液漫流後約成 1：50 的斜坡，若未設臨時堤圍堵，則須極長時間始可將此大面積填區填至要求高程，不但影響建廠時程，亦對地

下水下降速度、迴水匯集沉澱、迴水引流入海等後續作業進度非常不利。

臨時圍堤施作方式如下：

- (1)先以抽砂船抽砂排填於填區，使其露出水面，供施工機具進場。
- (2)挖土機將砂挖起築堤並覆蓋塑膠布防止沖刷，必要時覆上水泥板蓆，以減少土砂流失。
- (3)堤頂加鋪級配，作為臨時施工便道。

劉彥忠《由兩個建港實例談抽砂造地工程之
規劃及施工》

3.輸砂分叉管之利用－佈設輸砂管時在計劃位置設分叉管，其主要功用為：

- (1)配合分叉管所裝設的分流閥，可機動控制填砂區域，使抽砂船浚挖作業不間斷下，隨意變更填區，節省停車時間，提高效率。
- (2)可篩選或分離從挖區所排送出的粒料，並可依各區所需粒料大小，以控制分流閥方式提供。

4.填區高程控制點設置－於填砂前須進行水準點引測作業，根據指定的基準點及水準點引測至填區，並設置水準點數點，作為施工放樣及水準測量之基準。

5.回填砂品質管制－在輸砂管前端出口作回填砂料取樣時，樣品應仍是溼潤狀態，採樣地點為由出砂管口前面 10M、50M、100M 直線距離處。



照片 7 施作中之臨時圍堤



照片 8 完成之臨時圍堤

6.回填砂壓實及檢驗—為使新生地之土質均勻，並達到所需之夯實度，不但要求回填時必須以水平分層及輪流填築施工。且要每一輸砂管出口處，至少配置二部以上推土機同時進行推平壓實作業，不得將輸砂管出口固定一點直至填區達設計高程始移管，且每公頃回填區須作一處夯實度檢驗。

7.細粒料處理—沉澱池內細粒廢土方聚積達規定厚度時，必須挖除載運棄置，以免影響建廠基礎所需的地耐力及沉陷量，一般運棄處理方式為將廠區內的防風林區圍堵完成後做為細粒廢土方之堆置場，並栽植林木及被覆植物，不但可避免海域污染，又可藉以綠化林區。

九、定砂

灘地經回填砂料後，因回填料表層尚具鹹性，且無草籽草根散混其間，無法生長植物，裸露的砂面遇強風即隨風飄揚，致季風期造成嚴重風砂，對工程進行影響頗鉅，因此規劃填砂至設計高程後，即進行碎石定砂，迎風

面設置擋風牆，以陸上含有雜草之砂土覆面……等，加速砂層表面穩定，以利工程進行。

十、驗收

1.陸上驗收—陸上驗收須於填砂完成日後 100 天辦理，採用分區驗收方式，以每公頃測量 10 點為原則，其平均值不得低於設計高程，亦不得高於設計高程 10cm 以上。填區完成後每公頃並須做一處壓密度檢測，檢驗方式須依 ASTM D1556-86 進行，若未達標準，廠商須再以壓路機滾壓並複驗合格後方予驗收。

2.海上驗收—溪口疏浚工程及港域及航道驗收，則以拖船上之測深儀配合附屬儀器進行深度測量，其誤差為正負 50 公分內為驗收標準，超出容許誤差部分，如屬浚挖不足應予重新浚挖，如屬超挖部分應予回填至設計高程，並且需以絞刀式抽砂船抽砂，以確保海床之平整。



照片 9 鋪設便道



照片 10 定砂作業施工中

柒、施工檢討

一、季節風湧浪

抽砂船抽砂作業皆在海上，受制於季風、海浪、流砂等，尤其是東北季風期之風浪及颱風時之湧浪，嚴重影響工程進行，必須事先預作防範。

1. 東北季風浪

抽砂船僅可於浪高 2.7 公尺以下作業，故在風浪大時無法施工，因此冬季季風期效率低落，稍有疏忽甚至造成抽砂船損壞，迫不得已唯有變更施工計劃，並於每年 10-3 月季風期將抽砂船移調港域抽砂，以免延誤造地工期。

2. 颱風湧浪

港域及溪口均受颱風的影響，在海上颱風警報發布後，即須進行防颱避風措施；首先將抽砂船移至即有港口避風，同時將海上浮管下錨繫固穩定，待颱風警報解除後再將抽砂船拖回浚挖區。

二、砂源區位置信之後坡度及深度控制

抽砂工作施工時，港口及防波堤其設

計邊坡之控制相當重要，茲將整平及坡度控制之方法說明如下：

1. 即時測量定位系統：

以絞刀式挖泥船修邊坡，再以即時測量定位系統立即檢核施工面，並列表紀錄取存查。

2. 水平控制：

陸上測量時以三角點及水準點作控制點。

海上測量時以 GPS 系統定位。

3. 垂直控制：

陸上測量時以水準點做為控制點。

測量時以潮位計做為控制點。

三、填砂與定砂進度配合

一般均於完成面積約 15 公頃後始進場進行定砂，定砂工作必須積極進行，以免影響整體工區他項工程的施工。一般定砂工程主要以鋪設 3-8 公分清碎石於填砂面層經滾壓後完成。因此，安排適當大小的填砂分區、適當的主、支管佈設與協調定砂進度並確實掌握碎石料源，是即時完成定砂

不可缺的主要因素。

四、建廠用地需求與造地計劃配合

造地計劃初期以配合建廠計劃、抽砂船數量及產能、排距之遠近、管路之佈設、細粒料沉澱及迴水排放位置等因素安排造地順序及工期；但當部分廠建廠進度必須提前進行時，爲了兼顧進度與品質，達成要求，及不影響細粒砂沉澱及迴水排放，採增加機具產能，並重新安排圍堤、增設 WATER、BOX、排水路來因應。在兩種方案均無法達成目標時，則以砂石陸運填築，但成本較以船舶抽砂造地高了約 50-90%，這是不得已的因應對策。

五、環保監測

在環保意識日益高漲時代裡，如欲使抽砂工程得以順利推展，對防止污染措施得集思廣益詳細規劃。

有關抽砂填地對海域生態影響，一般而言，外海抽砂作業將使海底沉積物受擾動，使海水混濁，影響海水透光率，因此可能降低或防礙浮游植物之光合作用，使初級生產力降低。同時

捌、結語

大面積之抽砂造地工程必須事先縝密計劃，收集國內外專家廠商之意見，作成具有可行性之施工案，施工中更需要時時監控，處處檢討，遇有突發狀況則需立即研析作出有效之反應，台塑麥寮六輕工程經四年六個月的施工，共填砂 11000 萬立方公尺，造地 2134 公頃，平均每月填砂量 185 萬立方公尺，造地 38 公頃，期間不但受鄰近養殖戶及海上捕魚漁民阻撓，又需

過高的懸浮微粒亦易使海域其他生態產生變化，爲減少抽砂作業時，周邊海域海水之混濁度，除於專用港海堤，防波堤未完成前，在港域採用最不影響海水濁度的吸管式抽砂船外，尙需採取各種預防及監測之配合措施，於是沉澱處理後之迴水濁度若仍未達到規範之要求時，則在於排放口半徑 50M 之範圍設置攔污網(SILT PROTECTOR)，排放水經檢驗合格後始可放流入海，以確保海域生態不受影響，爲更慎重起見於各迴水排放口前及距抽砂船 500 公尺、1000 公尺、1500 公尺等海域，定期取水樣檢驗及記錄，以進行大範圍之環境水質監測。

六、回填區污泥之防治處理

利用防風林及綠帶作爲沉澱池，回填區所沉積之沉泥則利用陸上機具（堆土機、卡車、怪手）挖除，運棄於廠區計劃之防風林及綠帶內作爲有機質土，植生效果相當良好。

七、養殖戶、漁民之抗爭及補償問題一應以專責單位處理。

配合建廠設備船隻進出港而停工待命，甚至因應建廠用地需要時程調整而緊急調配造地砂料應急，凡此所受延誤，皆需事後擬訂具體可行之趕工計劃並切實執行追回進度。筆者曾全程參與工作，僅參照當時施工實錄作簡要記述，以提供相關業者及技師作爲參考。

劉彥忠《由兩個建港實例談抽砂造地工程之規劃及施工》