

潛盾施工管理
**CONSTRUCTION MANAGEMENT
OF SHIELD TUNNELLING**

朱旭，楊慕泉，段紹緯
D. H. Ju, M. C. Yang and S. W. Duann

原著載於第七屆大地工程學術研究討論會
1997年8月28~30日，第二冊，第1033~1040頁

*Reprinted from Proceedings of 7th Conference on Current
Researched in Geotechnical Engineering
Chinshan, Taiwan
August 28~30, 1997, Vol. 2, pp.1033~1040*

潛盾施工管理

朱 旭

楊慕泉 段紹緯

台北市政府捷運局中區工程處

亞新工程顧問公司

摘要

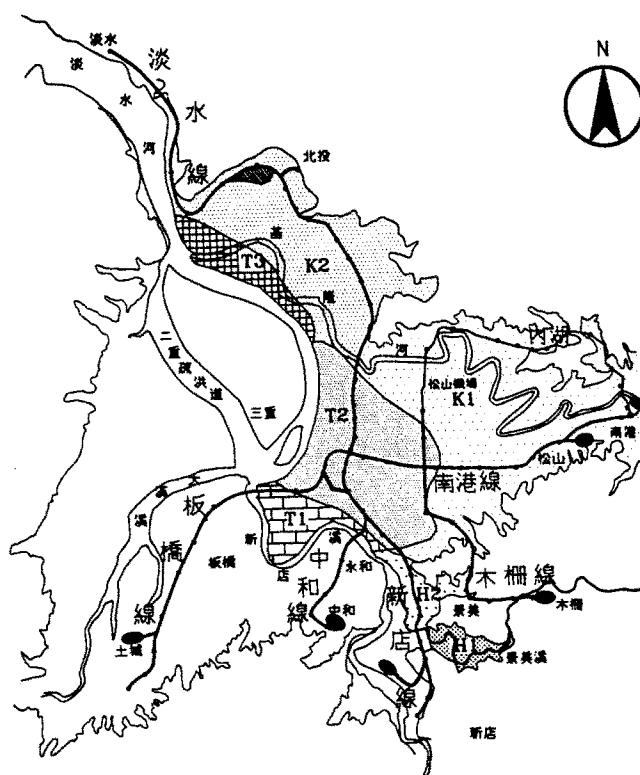
本文根據台北捷運系統初期路網之潛盾隧道施工經驗，針對潛盾設備的改良、開挖施工順序、施工管理項目以及施工控制方法等加以探討，藉此作為未來國內潛盾施工應用時之參考。

一、前言

國內自民國65年開始引進潛盾工法後，主要均應用於下水道工程，至台北捷運系統工程全面展開後，至今潛盾機使用數量達30部之多，其規模及數量在國內可謂史無前例，位於台北都會區內之軟弱土層中施工，沿線隧道重疊交錯、自建物群/管線下方通過或穿越河川下方等狀況履見不鮮，確保施工安全、落實建物保護以及控制沉陷等為潛盾施工中極重要之課題，皆有賴於完善的施工管理。

二、台北捷運隧道工程

大台北盆地地層係由基隆河、新店溪及淡水河等三條主要河川沖積而成，並形成主要為粉土、粉土質粘土與粉土質細砂交互沉積之地層；其中基隆河流域之沉積物以顆粒較細之粉土質粘土及粘土質粉土為主，新店溪流域則砂層較厚，以粉土質砂及



圖一 台北捷運系統初期路網位置與地層分區

夾有砂礫等較粗之顆粒為主，而自大漢溪及新店溪會合後之淡水河流域則呈現粉土質粘土與砂土互層的特色，具備較完整之松山層各次層。各流域範圍內其土層性質雖然相近，但因上、下游位置及沉積環境的不同而有差異，因此基隆河及新店溪流域可再細分為兩個分區(K1、K2及H1、H2)，淡水河流域則亦可細分為三個分區(T1、T2及T3)。

台北都會區捷運系統初期路網包括木柵、淡水、南港、新店、中和及板橋等六線，位置與地層分區關係如圖一所示，其建造型式除木柵線為高架、淡水線採地面、高架及地下外，其餘皆為地下結構，在全長總計36.172公里的地下工程中除車站與地下街等設施外，行車隧道合計約24.872公里，佔全長68.76%。行車隧道所採用之施工法主要有明挖覆蓋、潛盾及新奧工法等三種，其中潛盾工法相較於傳統隧道工法具有施工安全、迅速等特性，且對地面交通及商業活動等衝擊較小，因此廣泛運用於台北捷運隧道工程中，約17.254公里，佔行車隧道全長69.37%。

有鑑於台北盆地土層中粉土及粉質粘土層之低強度、高壓縮性，且一般地下水位在地表下0.5~5公尺之間，因此在面對高地下水位之軟弱土層及都會區內之施工限制條件時，潛盾機型式與設備的選擇尤其突顯其重要性，捷運各潛盾隧道施工標選用設備綜整如表一所示，可見密閉式潛盾機為台北捷運施工承商的一致選擇，與施工安全、建物保護及沈陷控制等訴求有直接關係，其中除新店線CH221標

採用泥水加壓式潛盾機外，絕大多數承商均採用土壓平衡式潛盾機並輔助加泥或泡沫式工法，究其原因，施工用地取得不易與經濟方面考量應為其主要因素。

潛盾機不像一般機械可直接自市場購入，製造商接獲訂單後必須根據工區狀況如：地理環境、地質條件、路線縱坡、覆土深度、特殊限制與施工者需求等諸多因素進行量身訂作；台北捷運潛盾工程在機械設備改良方面有若干特點，列舉如后：

- 改良型土壓平衡式潛盾機：普遍採用注入作泥材或泡沫等改良機型，以因應隧道沿線土層的變異性，並藉此提升工作度，配合壓送泵浦及排泥輸送管等出土設備，改善傳統不連續式出土流程、減少環保問題。
- 二層閘門式螺旋輸送機：於土倉隔版(Bulkhead)處多設置一道閘門，以確保施工安全、防止意外，尤其位於穿越河川下方之開挖推進。
- 彩帶式螺旋輸送機(Ribbon Conveyor)：因應粒徑φ 50~70公分之礫石層中開挖出土，採無中軸式

表一 台北捷運潛盾隧道工程各施工標選用設備一覽表

路線別	施工標	覆土深度(m)	最小曲率半徑(m)	最大縱坡度(‰)	選用機型	輔助工法	切刀型式	製造商/國別	* 長度(m)	±外徑(m)	環片內徑/外徑(m)	環片寬度/厚度(m)	二次攪攪	同步背攪攪攪設備	轉換方式	出土方式	備註
淡水線	CT201A	9-18	450	3.0	土壓平衡	加泥型	面板式	Herrenknecht/德國	---/---/---	---/6.09	5.42/6.12	1.00/0.25			C	X	
新店線	CH218	8.5-21	380	3.0	土壓平衡	氣泡型	輪幅式	三菱重工/日本	6.40/6.10/5.70	6.07/6.05	5.40/5.90	1.00/0.25	有	有	C	Y	部份隧道重疊
	CH219	8.5-22	700	3.0	土壓平衡	加泥型	輪幅式	石川島播磨/日本	7.50/6.95/6.30	---/6.04	5.40/5.90	1.00/0.25			A	Z	部份隧道重疊
	CH221	8-22	400	3.0	泥水加壓	---	面板式	小松製作所/日本	7.10/6.95/6.52	---/6.25	5.60/6.10	1.00/0.25	有		B(雙機施工)	Y	四條隧道交錯重疊
	CH222	9-18	300	2.448	土壓平衡	加泥型	圓頂式	LOVAT/加拿大	7.77/---/---	6.16/6.12	5.40/6.00	1.00/0.30			雙機施工	Z	
	CH223	9-15	350	0.2	土壓平衡	加泥型	輪幅式	日立造船/日本	---/7.10/6.67	6.04/6.04	5.40/5.90	0.90/0.25			B, 索引, A	Z	
	CH224	9-16	350	3.0	土壓平衡	加泥型	圓頂式	川崎重工/日本	---/7.54/6.62	---/6.04	5.40/5.90	0.90/0.25			A	Z	穿越新店溪
南港線	CN251	9.5-16	200	3.0	土壓平衡	加泥型	輪幅式	奧村機械/日本	---/6.90/---	---/6.25	5.60/6.10	1.00/0.25	有		A	Y	
	CN253B	6-11.5	200	3.0	土壓平衡	加泥型	輪幅式	日立造船/日本	7.20/---/6.03	---/6.24	5.60/6.10	1.00/0.25	有		A	Y	
	CN253A	10-12	350	0.74	土壓平衡	加泥型	輪幅式	日立造船/日本	7.40/7.00/6.63	6.04/6.04	5.40/5.90	1.00/0.25			B	Z	
	CN254	11-13	900	0.353	土壓平衡	加泥型	輪幅式	日立造船/日本	7.40/7.00/6.63	6.04/6.04	5.40/5.90	1.00/0.25			B(雙機)	Z	
	CN256	8.5-12	3,000	1.488	土壓平衡	加泥型	輪幅式	三菱重工/日本	7.18/6.88/6.48	6.07/6.05	5.40/5.90	1.00/0.25			A, 索引(雙機)	Y	
	CN257	8-10	1,300	0.759	土壓平衡	加泥型	輪幅式	日立造船/日本	7.40/7.00/6.63	6.04/6.04	5.40/5.90	1.00/0.25			A	Y	
	CN258	8-12	300	0.738	土壓平衡	加泥型	輪幅式	LOVAT/加拿大	7.16/---/---	6.05/6.04	5.40/5.90	1.00/0.25			雙機施工	Z	
	CP261	11-25	330	2.985	土壓平衡	加泥型	輪幅式	三菱重工/日本	7.22/6.92/6.52	---/6.25	5.60/6.10	1.00/0.25	有		B, A(雙機)	Y	
板橋線	CP262	10.5-2	300	2.8	土壓平衡	加泥型	輪幅式	川崎重工/日本	---/7.68/7.37	---/6.24	5.60/6.10	1.00/0.25	有		索引(雙機)	Z	穿越新店溪
	CP263	9-10	1,000	3.0	土壓平衡	加泥型	輪幅式	小松製作所/日本	7.45/6.95/6.50	---/6.24	5.60/6.10	1.00/0.25		有	A	Y	
	CP264	10.5-2	280	2.4	土壓平衡	加泥型	輪幅式	Herrenknecht/德國	6.27/5.97/5.47	6.28/6.28	5.60/6.10	1.00/0.25	有		B	X	
	CC275	11-26	300	3.0	土壓平衡	加泥型	面板式	Herrenknecht/德國	6.42/6.09/5.66	6.27/6.26	5.60/6.10	1.00/0.25			C	Z	穿越新店溪
中和線	CC276	6.5-22	300	3.5	土壓平衡	加泥型	面板式	Herrenknecht/德國	6.42/6.09/5.66	6.27/6.26	5.60/6.10	1.00/0.25	有		C	Z	部份隧道重疊
	CC277	6-22.3	200	3.0	土壓平衡	加泥型	面板式	Herrenknecht/德國	6.42/6.09/5.66	6.27/6.26	5.60/6.10	1.00/0.25	有		C, A	Z	部份隧道重疊

說明：* 表示潛盾機之 鼻尖至盾尾總長度 / 刀盤面至盾尾長度 / 盾身長
± 表示潛盾機之 刀盤外徑 / 盾身外徑

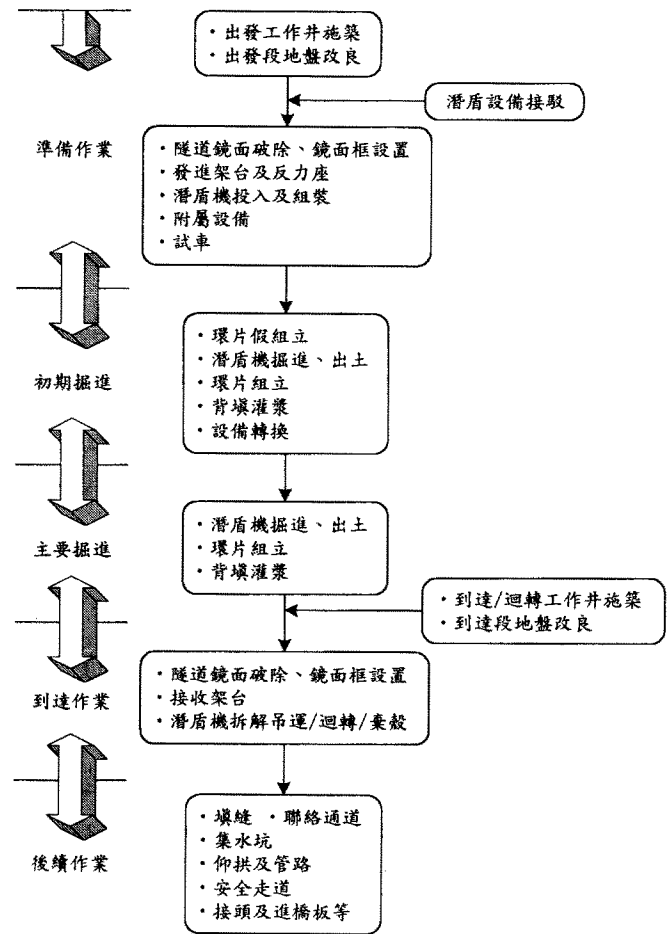
A: 拆解、吊運、再組立 B: 迴轉 C: 棄殼
X: 膠輪傾卸車 Y: 壓送泵浦+排泥管 Z: 軌道台車

螺旋輸送機，並配合迴轉式調節排土器(Rotary Discharger)以加長水路長度，增加水密性。

- 設置人員壓力倉(Man Lock)：遇緊急事故時為排除盾首障礙或機械維修所預留之人員進出孔。
- 盾首或盾殼前洞預留灌漿管：必要時可於隧道內進行灌漿作業。
- 設置切樁削刀(Pile Cutter)：隧道掘進路線中預計遭遇既有結構物基樁，需進行切樁作業時設置。
- 有害氣體自動偵測器(Gas Detector)：台北盆地曾於多處地質調查時發現沼氣的存在，因此基於安全考量，施工階段除加大隧道內通風能量外，針對甲烷(CH₄)、一氧化碳(CO)等有害氣體濃度進行偵測，並可與設備連線，當偵測濃度到達設定值時潛盾機即自動斷電，以確保施工安全。
- 自動定位系統(Automatic Position and Attitude Measuring System)：隨時記錄、顯示目前潛盾機位置及高程，並提供與預定路線(施工前輸入資料)及人工測量結果之比較，以自動化方式提供施工者最新數據，降低施工誤差。
- 孔隙偵測裝置(Void Sensing Device)：以機械方式利用油壓千斤頂伸出探針，藉由覆土壓力的量測來偵測盾首上方空洞的發生，以達預警效果。

三、潛盾施工法

潛盾施工法為軟弱地層中施築隧道的一種施工法，利用潛盾機(Shield Machine)進行開挖及隧道襯砌構築，由於施工動作均在潛盾機盾殼的保護下進行，與傳統隧道開挖工法比較，可免去臨時支撐重覆架設、拆除的缺點，在安全性、便利性及施工速度方面的大幅提升為其主要之特點，典型的作業流程如圖二所示，概分為準備作業、初期掘進、主要掘進、到達作業及後續作業等五個階段。



圖二 潛盾施工法作業流程

台北捷運各標隧道施工長度自360~1100公尺不等，無論採用單機或雙機作業，針對上、下行雙向隧道採用之開挖施工程序有下列三種：

1. 拆解、吊運、再組立一潛盾機至到達井後，採大部分解，分塊吊運回原出發井進行組裝，準備第二條隧道發進。特點：(a)到達井佔用時間較短。(b)地面設施毋需遷移。(c)兩條隧道作業獨立，第二條隧道施工較不影響先行隧道後續作業進行。(d)機械設備拆解及吊運時仍有損壞之可能性，且需重新組裝後才可使用。

2. 迴轉(U-Turn)一潛盾機到達迴轉井後進行迴轉及定位，必要時進行頂升，準備第二條隧道發進。特點：(a)迴轉井須符合設備迴轉空間，空間需求大於單純之到達井，且佔用時間較長。(b)第二條隧道若利用迴轉井進料及出土，地面設施須增設或進行遷移，但兩條隧道作業獨立；若僅利用迴轉井

進行物料及棄土轉運，地面設施雖毋需遷移或增設，但施工動線延長將造成工率降低、臨時設施費用增加，甚至影響先行隧道後續作業進行等情形。

(c)機械設備維修保養後即可再次發進。

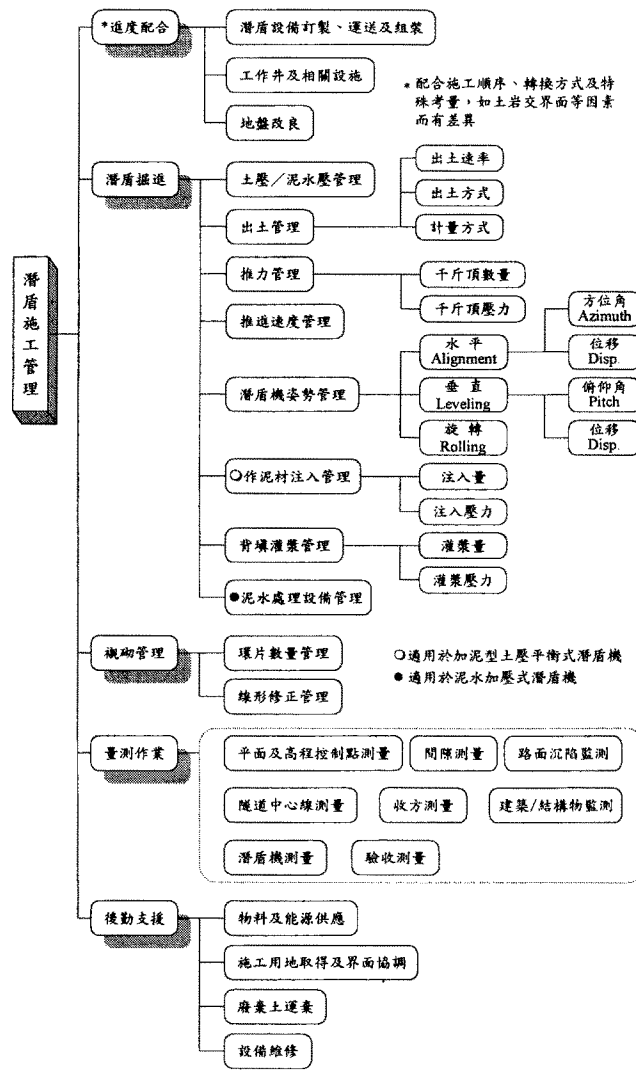
3.棄殼—潛盾機到達段無法施作工作井或界面工作時程無法配合時，潛盾機到達連續壁外側後將內部機組件作細部拆解，與後續台車設備等自隧道內退出，盾殼留置原處，第二條隧道施工時則需另行準備一組新盾殼，於現場組裝。特點：(a)毋需構築到達井，地面設施亦不用遷移。(b)購置新盾殼尚包括切削刀盤及提供扭矩之軸承等相關設備，於現場重新組裝時除耗費時日(一般為2~2.5個月)、且可能造成之損壞率較高外，新組件、機械租金及技術顧問等額外費用接近半台潛盾機造價，亦是考量重點之一。(c)棄置盾殼內尚需以場鑄方式施築襯砌。(d)界面問題較單純。

台北捷運工程各土建施工標通常涵蓋一座車站及一段雙向行車線，因此就進度管理與經濟效應的觀點而言，由於潛盾隧道工程之整體工期較短，因此將準備、到達作業的各項工作時程納入相鄰車站或明挖覆蓋區域施工時程一併考量，據以決定潛盾施工之開挖程序及轉換方式，如此有助於降低設置工作井、額外增設機械設備等諸多工程費用，惟相關界面問題因而趨於複雜，常因合約內容與利害衝突等問題滋生執行上之困擾，所以必須在規劃及設計階段便應考量分標及發包方式，並儘可能釐清界面關係、明訂權利與義務，方能避免施工中之界面糾紛，並使整體工作得以順利且經濟地推展。

四、潛盾施工管理

土木工程牽涉層面甚為廣泛，施工品質之良窳、進度控制好壞與施工管理的落實與否息息相關，潛盾隧道施工亦是如此，環環相扣，任一環節的脫節失序均將造成工程延滯及不可避免的財務損

失，由此可知施工管理的重要性，有關潛盾隧道施工各管理項目的綜整如圖三所示，其中各項管理參數的分析方法於諸多文獻中均有探討，在此不再贅述，茲針對台北捷運經驗中土壓/泥水壓、出土、作泥材注入及背填灌漿等管理項目提出說明。



圖三 潛盾隧道施工管理項目示意圖

土壓/泥水壓管理

理想狀況下潛盾開挖面若能維持靜止土壓力平衡，原地層將不受到擾動且保持穩定。土壓/泥水壓管理目標即在維持開挖面安定，使其受擾動程度減至最低，以確保工程品質及鄰近建築/構造物安全。

以絕大多數施工承商選用的土壓平衡式潛盾機為例，輔助工法採用注入作泥材、泡沫或清水等藉以擴大適用範圍並提升工作度，至於管理土壓設定

之基本模式大致歸納如下：

1. 設定管理壓：多以沿線地質鑽探及水位量測資料推算之靜止土壓+水壓+預備壓(一般經驗值為 $2t/m^2$)分區設定管理壓，且分別以主動土壓和被動土壓加上水壓作為管理壓的下限及上限。

2. 掘削面壓力與土倉壓力：潛盾施工中量測土壓力之感應器(Pressure Cell)位於土倉隔版(Bulkhead)上，量測結果係反應土倉內之壓力，由於因切刀開口率不同所造成潛盾機軸向壓力損失程度難以正確量化設定，因此施工管理壓設定時仍需憑經驗視情況進行修正。台北捷運中除新店線CH222及CH224標針對隧道沿線之土岩交界面及卵礫石層採用圓頂式(Dome Type)切刀盤，淡水線CT201A標及中和線各標採面板式(Disk Type)切刀盤外，大多數土壓平衡式潛盾機皆採輪輻式(Spoke Type)切刀(如表一所示)，由於土壤的破壞至被動側較主動側有較大之餘裕，因此當採用開口率較高之輪輻式切刀時，若忽略切刀軸向壓力之影響而以土倉壓力作為掘削面壓力尚屬安全側考量，至於採用開口率較小的面板式及圓頂式切刀盤時，多將掘削面相對位置推算而得之壓力再乘上一「土壓損失係數」，以求取管理壓，以新店線CH224標為例，其土壓損失係數採0.8予以計算。

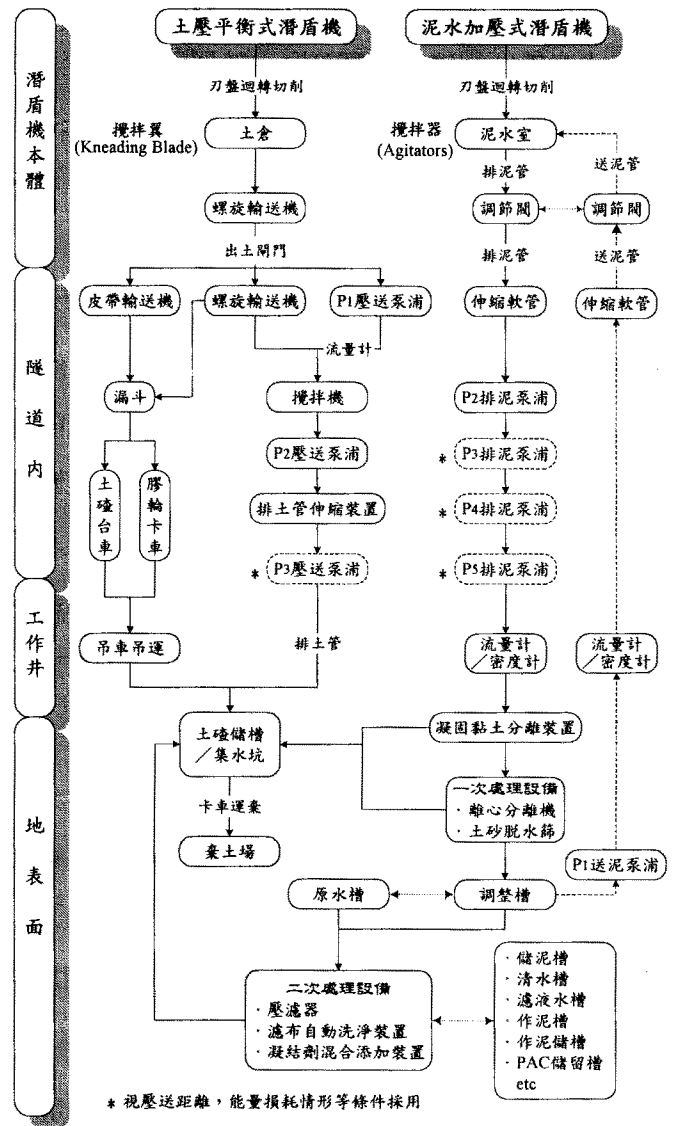
3. 試誤法(Try Error Method)：計畫階段根據相關資料推算並參考類似經驗而得之管理壓應視實際掘進結果，包括地表沉陷記錄及潛盾機運作狀況等，隨時進行調整。

唯一選用泥水加壓式潛盾機的新店線CH221標，採面板式(Disk Type)切刀盤，以掘削面中心之自然水壓+ $2t/m^2$ 設定為泥水壓管理值，以泥水壓控制及切刀面板來維持掘削面的壓力平衡。當潛盾機掘進時係利用送泥泵進行流量控制，使其滲透及填充掘削面空隙並形成泥膜以抑制孔隙水壓、提高自

立性；停止時靠泥水壓保持閥進行自動控制，以保持掘削面穩定。

出土管理

潛盾施工中為維持掘削面的安定，應控制土壓/泥水壓的穩定平衡，出土量掌控亦為重要管理項目之一，當潛盾機以設定速率掘進時，單位時間內掘削土量與出土量應達到平衡，而每環掘進之總出土量可與根據相關資料計算推估之數據相比較，以作為施工控制的參考。



圖四 潛盾施工出土流程示意

台北捷運各施工標採用之出土流程綜整如圖四所示，其中以排土管泵送方式出土者有採流量計與壓送泵浦計數器等兩種計量方法，兩者可同時採用

以互相校核。採吊運方式出土者，有利用測定螺旋輸送機轉速或根據出土台車數、土筒數推算出土量等方式，兩者亦可同時採用。

作泥材

潛盾機於砂性土壤中開挖，掘削土進入土倉經擠壓後，有強度提高及流動性降低等現象，常發生排土不順暢並導致切刀扭力(機頭電流值)過高及螺旋輸送機排土功率降低等問題；於黏性土壤中開挖亦常發生土碴黏附於土倉壁導致排土功率降低及錯估出土量等困擾。因此為改善出土效率並擴大土壓平衡式潛盾機的適用土層範圍，於掘削面注入添加劑用以調整掘削土壤之粒徑分佈情形，降低其空隙比及含水量，而達到改良土壤流動性並抑制地下水溢流之效果。

對於添加劑特性及需求的考量，歸納如下：

1) 能提昇掘削土壤塑性流動性與不透水性，2) 能促進土層安定並使掘進作業連續順暢，3) 減低掘削土壤與土倉內壁及螺旋輸送機之摩擦抵抗，便於排土，4) 容易處理且無公害，5) 價格低廉。

台北捷運工程中使用之土壓平衡式潛盾機絕大多數均配有注入作泥材的設備，作泥材的選擇以採用皂土+水佔最多數。

背填灌漿

潛盾施工時進行背填灌漿的目的有三：1) 填塞盾尾間隙以避免導致地表沉陷，2) 防止地下水滲漏進入隧道環片內，3) 使受開挖擾動的地盤作用於環片上之壓力能及早穩定。

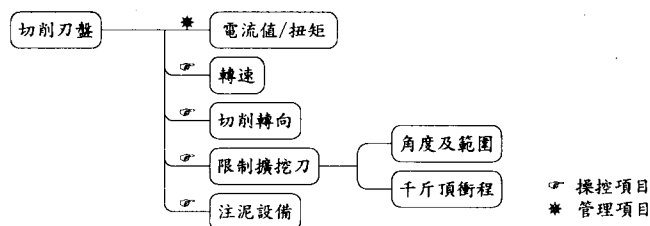
背填灌漿基本管理項目為灌注壓力及灌漿量：

1. 灌注壓力：管理壓力一般採用 $1\sim 4\text{kg/cm}^2$ ，視地層狀況與灌漿量的變動可作適度調整，以使灌漿順利進行並不造成地層及隧道環片產生不良影響為原則。

2. 灌漿量：灌漿量的決定在於孔隙體積計算與灌漿率的設定，所謂灌漿率為實際灌漿量與理論空隙量的比。由於灌漿材滲入開挖面、因加壓而壓入開挖面、脫水壓密或超挖等因素，一般灌漿率為 $120\sim 200\%$ ，視地層狀況與施工條件而有差異。

五、施工控制方法討論

關於潛盾施工中潛盾操作手所面對諸多操控項目及管理項目間之關係，茲以潛盾機之組件設備為單元，分別依表列順序加以討論敘述如后。



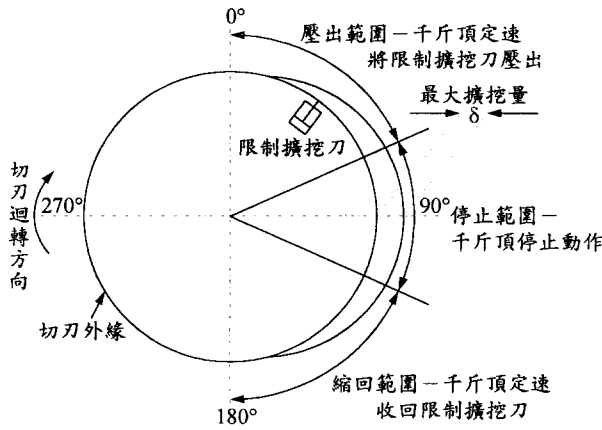
潛盾機切削刀盤驅動馬達可概分為電流驅動與油壓驅動兩種類型，在施工管理的角度一般使驅動系統維持在設計能量 $70\sim 80\%$ 的範圍以內，並避免掘進中因發生超載而損壞，因此分別以電流值(安培數)及扭矩來設定安全管理值。

切削刀盤的轉速由潛盾操作手設定，掘削面土壓穩定且驅動馬達正常負載狀況下並無太大差異。部份潛盾機於設計時即採固定轉速而無法調整。

密閉式標準潛盾機(圓形斷面)係利用切削刀盤以迴轉方式將土碴掘入機內，至於切刀轉向的選擇係由操作手視潛盾機機身旋轉(Rolling)程度決定，就潛盾前進方向若機身有右旋偏量產生時可利用切刀採右旋掘削來修正機身姿勢，反之亦然。此外因遭遇障礙物或出土設備阻塞等因素而造成驅動系統到達安全管理值時，亦可試行採用變換切刀轉向方式來排除障礙及降低負載。

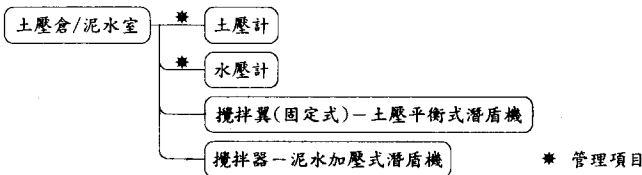
潛盾機通過出發、到達段及特殊考量的地盤改良區域，或受限於隧道線形曲率時，操作手便可利用限制擴挖刀(Copy Cutter)，設定其千斤頂伸出的

角度範圍與衝程量，如此有助於潛盾機順利通過達到設計線形、避免不均勻受力造成隧道環片及設備的損壞，所造成的土層鬆弛範圍較傳統擴挖刀來得少。限制擴挖刀作業方式範例如圖五所示，其中設定之擴挖範圍為0~180°、最大擴挖量為 δ 。



圖五 限制擴挖刀作業方式範例

部份潛盾機在切削刀盤上設置注泥管，操作手應按施工計畫中訂定之壓力、灌漿率及配比等施工，並視現場狀況適度控制調整。

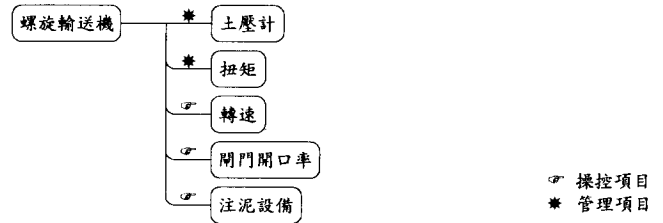


土壓倉/泥水室內的土壓及間隙水壓係利用裝設於隔版(Bulkhead)上之土壓計及水壓計進行計測，其裝設位置與數量之多寡並未規定，台北捷運各標所使用的潛盾機，隔版位置裝設土壓計數量至少2組(中心高程兩側)，最多則配置到7組，目的在量測斷面上不同位置的土壓，並可藉彼此數據確認土壓倉/泥水室內之壓力是否均勻，以作為作泥材配比調整的參考。

配合注入添加劑或氣泡等輔助工法時，為使土倉內之掘削土壤與添加劑等充份混合攪拌以達到改良其流動性及抑制地下水溢流的效果，並且避免掘削土壤黏附於倉壁上造成出土困難或出土數量誤判等困擾，土倉內配置有攪拌翼(Kneading Blade)，固

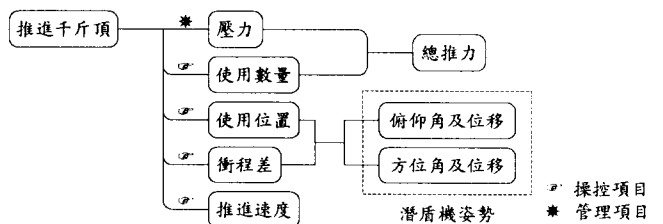
定於切削刀盤內側距軸心不同距離的位置，當切刀旋轉掘削的同時即以不同半徑的圓周進行攪拌。

泥水加壓式潛盾機於泥水室下方排泥管口處設置攪拌器(Agitators)其目的有二：1.使掘削土碴與泥水充份混合，避免析離。2.避免外徑過大之土碴或掘削物如流木、礫石等進入排泥管，而導致堵塞。



螺旋輸送機(Screw Conveyor)為土壓平衡式潛盾機之設備，利用輸送機內螺旋狀葉片的迴轉來排出不斷掘削進入土倉內之土碴，施工中應配合推進千斤頂的推進速度來調節輸送機轉速及出口閘門的開口率，以控制土倉內壓力的大小及均衡，進而維持掘削面的穩定與施工安全。

為確保潛盾施工中螺旋輸送機正常運作，避免機件超載造成損壞，而衍生工期延誤及成本增加等問題，因此多以螺旋輸送機驅動馬達之扭矩或機內量測土壓力作為管理項目，當扭矩或土壓力達到設定的管理值時，顯示異常狀況必須予以排除，若僅是機內有堵塞現象，便可停機利用側壁之預留開口清除障礙，視狀況調整出土閘門開口率及添加劑配比與注入率，以維持出土作業的工作度，更有部份製造商於輸送機上亦設置土壓計及注泥設備等。



推進千斤頂(Shoving Jack)在潛盾施工中同時扮演控制機體推進與方位、姿勢修正的角色。

推進千斤頂能量、衝程與數量的選定必須考量沿線土壤工程性質，覆土深度，隧道直徑、總長度、最小曲率半徑及最大縱坡度，環片強度、尺寸及型式等諸多條件據以決定採用。施工中操作手應審慎選用千斤頂，避免局部產生過大壓力而造成千斤頂本身或後方環片的損壞，因此當操作手在選用千斤頂欲修正潛盾機姿勢時，尤其要注意壓力/總推力的變化情形。

修正潛盾機姿勢係利用推進千斤頂，無論上下左右以選用相反方向位置之千斤頂為原則，操作手在操控室內可透過操控面板隨時調整選取，為能精確且有效地掌握千斤頂動作，一般配置有2~4組感應器 (Sensor) 隨時偵測記錄千斤頂衝程 (Jack Stroke)，作為施工參考。由於千斤頂衝程數字明確，亦有直接以千斤頂衝程差的大小作為方向控制依據的作法。

千斤頂推進速度與螺旋輸送機轉速是土壓平衡式潛盾機施工中兩項重要操控參數，許多承商特別為此於操控室內增設微調裝置，可見其重要性。兩者間之關係應為正比例，當自然或人為因素造成推進速度變化時，首應配合調整螺旋輸送機轉速以控制土倉壓力在管理壓範圍內，並隨時注意千斤頂壓力及衝程變化情形，掌握出土量及土渣品質，避免超挖而造成土層鬆弛甚至坍塌，維持掘削面穩定並確保施工安全應為最重要目標。

六、結語

- 目前潛盾施工技術正朝向自動化、高速化、長距離、大深度、複合斷面及特殊斷面等目標不斷精進改良，潛盾工法的應用亦將更趨於多元化，國內公共工程複雜性及困難度不斷提升之際，著眼於施工安全性與可靠性，潛盾工法的應用範圍將更為廣泛，如地下車站施築、複合斷面隧道等，台北捷運只是個開端。

- 自動化先進的機具設備並不能完全確保施工絕對安全無虞或工期一定縮短，人的因素仍扮演舉足輕重的地位，具備妥善的施工規劃、管理以及豐富的施工經驗，得以保持流程的安全順暢，並且適時適地作出正確的決策才是關鍵，而台北捷運技術轉移與經驗傳承的精髓即在於此。

誌謝

本文係作者於亞新工程顧問公司執行台北捷運系統大地工程專業顧問服務工作之成果，撰文期間承蒙莫若楫博士與黃南輝博士以及台北捷運局二處謝台興處長提供寶貴意見，郭金源工程師協助整理資料，在此謹誌謝忱。

參考文獻

朱 旭 (民國 82 年)，「台北都會區捷運工程隧道施工技術及應用」，台北市政府捷運工程局，共 98 頁。

Construction Management of Shield Tunnelling

Daniel H. Ju M.C. Yang, S.W. Duann
CDPO, DORTS, Moh and Associates, Inc.
Taipei Taipei

ABSTRACT

This paper presents the experience gained from the shield tunnelling of the Preliminary Network of the Taipei Rapid Transit Systems. The improvement made on the shield machines, excavation sequence, construction management and control method are discussed to provide useful references for the future shield tunnelling.