

臺北捷運的第一台潛盾機

戴家銓¹ 常輝庭² 馬婉容³

摘要

臺北捷運淡水線 CT201A 標由臺北車站至臺大醫院站之間的潛盾隧道工程，乃國內捷運系統第一條完成的潛盾隧道，施作該隧道之機具係為德國最優良之廠牌「海瑞克」(Herrenknecht) 製造之潛盾機；文內對這臺潛盾機的啟用、構造尺寸、操作方式、施工遭遇困難及處理、隧道貫通及機組棄殼案例，均有完整的記錄及說明，同時，對這台潛盾機的文物保存，以及未來潛盾施工的展望，亦有建議和期許。

本文乃以關懷人本精神，傳承捷運優質文化，以奠定永續發展之基石為出發點，希望一方面活化大家集體的記憶，同時也凝聚情感並萃鍊出前進的能量。

關鍵詞：潛盾機、隧道貫通

The Tunnel Boring Machine of the first finished tunnels for Taipei MRT

Jia-chian Dai Huei-ting Chang Wan-jon Ma

Abstract

The tunnel between Danshui MRT line's Taipei Main Station and NTU Hospital Station was the first-ever shield tunneling construction completed in Taiwan. This article gives a detailed record and description including: launch ceremony of the first shield tunnel machine, its structural dimensions, the operation of the machine, difficulties encountered and their solutions, completion of tunnel excavation, representative example of shell abandoning, etc. In addition, this article also offers suggestions and expectations to the preservation of relevant cultural heritage and future shield tunneling construction.

Based on human concerns, this article aims to transmit the high quality of MRT culture and lay foundations for sustainable development with the hope of enlivening collective memories, uniting and accumulating energy for moving towards the future.

Keywords: tunnel boring machine, tunnel breakthrough

1. 臺北市政府捷運工程局北區工程處測量所正工程司兼主任
2. 臺北市政府捷運工程局北區工程處土九所副工程司
3. 臺北市政府捷運工程局北區工程處土三所幫工程司

cctai@trts.dorts.gov.tw
htchang@trts.dorts.gov.tw
wjma@trts.dorts.gov.tw

一、前言

臺北捷運淡水線是國內第一條通車的高運量捷運系統，其中 CT201A 標由臺北車站至臺大醫院站之間的潛盾隧道工程，乃國內捷運系統第一條完成的潛盾隧道(圖 1)。CT201A 標工程原屬 CT201A/B 標工程之一部分，CT201A/B 標工程為國內捷運第一個採國際標招標的工程，經過資格、技術及價格標三階段審核，最後由本國理成營造工程股份有限公司、韓國三星營造股份有限公司及德商瑞林股份有限公司聯合承攬得標，於七十八年七月二十五日簽約，七十八年九月一日開工後，因地上建物無法順利拆除，施工場地無法順利交付 CT201A/B 標廠商進場施工，本局依合約規定與 CT201A/B 標廠商將 CT201B 部分解約，只保留 CT201A 標潛盾隧道工程(圖 2)，並將 CT201B 標工程拆標分為 CT201D、CT201E、201G 及 CT201F 四標。

本 CT201A 標工程由德商瑞林公司負責施工，該公司是德國很具規模的建築業和土木工程業廠商，工作人員本著德國人守法、敬業、嚴謹且務實之民族性，負責 CT201A 標工程施工與合約管理，施工期間除了秉持工程專業進行有效率的施工，更精準的控制施工進度及嚴緊控管品質，同時特別設置合約經理，依據合約條款積極維護及爭取應有權益，足堪國內營造廠商借鏡學習。(圖 3)

本文乃以關懷人本精神，傳承捷運優質文化，以奠定永續發展之基石為出發點。將本局同仁的主體故事，運用文化內蘊與深層價值的感覺，訴說出臺北捷運第一台潛盾機的若干文物的事故，希望一方面活化大家的集體記憶，同時也凝聚情感並萃鍊出前進的能量。



圖 1 C201A 路線圖

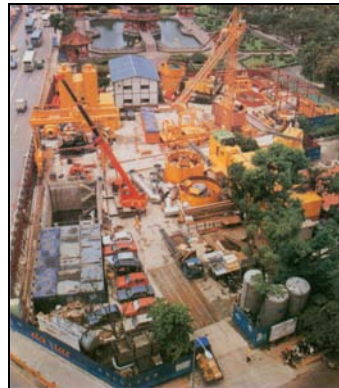


圖 2 C201A 工地鳥瞰圖

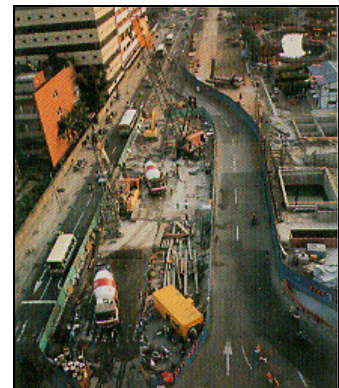


圖 3 C201A 工作井開挖實景

二、臺北捷運的第一台潛盾機

CT201A 標工程由德國瑞林公司負責施工，引進德國最優良之廠牌“Herrenknecht 海瑞克”所生產之全斷面隧道鑽掘設備，海瑞克公司(Herrenknecht AG)係德國硬岩開挖機、小管徑推進機及 TBM 第一大製造廠，為目前世界最知名之廠牌之一，該廠創業人 Dr. Martin Herrenkenct 曾至工地現場瞭解，進行土樣分析，考慮沖積層內可能挾有礫石，配合隧道之需要，設計本工程之潛盾機。其所生產之潛盾機具設備，除使用於 CT201A 標工程，捷運板南線 CP264 標工程亦使用本機具，並已順利完工通車。

(一)潛盾機啟用典禮

民國八十一年七月二十二日 CT201A 標工程舉行潛盾機啟用擲瓶、命名典禮，由當時的臺北市長黃大洲伉儷共同主持，韓國駐華大使及德國經濟中心主任也都到場觀禮，使得這個典禮顯得格外隆重，黃市長於致詞時表示，此隧道是淡水線唯一使用潛盾機的工程，並為潛盾機命名為「新公園號」，隧道也命名為「新公園隧道」(圖 4)；該工程承攬

廠商顧及人員 24 小時在隧道內工作，特別於隧道內增設「空調冷氣」，以維持良好的工作心情；另全臺首座隧道解壓艙，亦首度於本標工程啟用。



圖 4 CT201A 標潛盾機啟用命名典禮



圖 5 C201A 工作井中的潛盾機

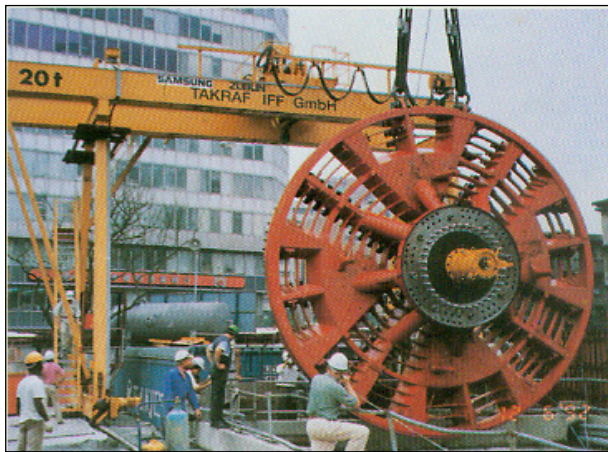


圖 6 C201A 切削器吊放

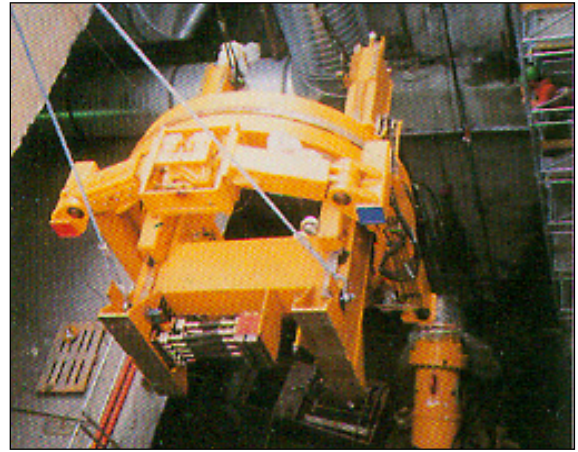


圖 7 C201A 環片安裝機吊放

(二) 潛盾機的構造及尺寸(圖 5-圖 7)

潛盾機型式：土壓平衡式

襯砌環片外徑／內徑：5,920/5,420mm

襯砌環片厚度／寬度：250/1,000mm

潛盾機外徑：6,090mm

盾尾鈹厚：最大 50mm

盾尾淨空：35mm

盾後灌漿空間：80mm

潛盾總推力：40,000KN(30 個液壓千斤頂)

削切轉盤轉速：最大 3rpm

削切轉盤扭力：500T-m

最大推進速度：3.33cm/min

螺旋輸送機最大出土量：125 m³/hr

潛盾裝置灌漿泵容量：75m³/hr

盾殼重：120 噸

潛盾及附屬系統總長：48m

組立後總重：390 噸

電力設備總裝置容量：1,300KW

設備需要電力：966KW

潛盾機內設有氣壓室、液壓千斤頂及襯砌環片安裝機。其後緊跟著四輛後援設備拖車，拖車上設潛盾控制室、灌漿設備、輸土設備、輸送環片設備、通風、動力、液壓、氣壓、變電等設備。其他尚有監視閉路電視、測量靶板、有害氣體監測、通訊、防火等設備。潛盾機為壓氣密閉式，盾首有 160 個切削齒及鑽頭裝置於轉盤上，轉盤可顯示順時鐘向轉或逆時鐘向轉。轉盤上有注水孔，必要時用以注水改良土壤之流動性，盤後為容土倉，下設螺旋輸送機。土倉內必要時亦可注皂土液或其他附加劑以利出土；同時，螺旋輸送機可以順轉或逆轉運作，減少卡住可能性。

盾首轉盤上方設兩個氣壓室 (Air Lock)，以備必要時工作人員可以進入盾首區檢查故障或修理設備之用。潛盾機刀首轉盤上附加裝一具液壓操作擴孔切刃齒 (Copy Cutter)，可修正特定方向的隧道斷面。潛盾控制室有各種儀表與控制鈕，供操作人員監控下列各主要項目：

1. 監控潛盾 30 個液壓千斤頂之伸長或收縮距離，每 6 個為一組，每組之推力與總推進力。
2. 監控潛盾之前進速度、及轉盤之轉速、轉向及扭力。
3. 監看潛盾上坡、下坡、滾轉及前進里程等數據。
4. 監看測量雷射線光靶位置，用以調整前進方向。
5. 監看隧道環片安裝情形。
6. 監視潛盾土倉內土壓情形，供維持土壓平衡之用。土壓平衡與潛盾前進總推進力、力、出土等情形相互關聯，供操作人員作最佳運用。
7. 監看出土情形。
8. 監看隧道環片背填灌漿情形。
9. 監看隧道內有害氣體含量、氧量、二氧化碳含量、隧道氣溫等。

(三) 潛盾機的操作方式 (圖 8-圖 9)

本工程所使用的潛盾機係在德國設計製造，機身盾體外徑為六點零九公尺，長度包括後援系統為四十八公尺，總推力可達四千噸，並配備有空氣加壓設備。開始鑽掘時，係以預鑄抗壓環傳遞潛盾機之推力至工作井之中間版及底版。至推進六十公尺後，該推力即可以環片與土壤間之磨擦力平衡。潛盾機前方由切削器挖出之土壤，由螺旋輸送機經輸送帶運送至後方之運土卡車再藉由門型吊車移入設於地面之棄土坑。隧道內面係以每節寬一公尺，由六片 (5+1 型) 厚 25 公分之預鑄混凝土環片組合而成之弓型支保襯砌支撐，環片間採用遇水膨脹式止水封，並採背填灌漿予以封固，以避免漏水。



圖 8 C201A 第 2 銅環裝配



圖 9 C201A 隧道工程車

(四) 工程遭遇困難及處理

潛盾機於出發後因隧道出發段緊鄰工作井之 4 公尺範圍曾做水泥噴射高壓灌漿（灌漿壓力 $200\sim 250\text{kg}/\text{c m}^2$ ）改良地質，地層強度部分達 $100\text{kg}/\text{c m}^2$ 或以上，潛盾機之鑽進極為困難，廠商曾多次派人進入潛盾機之土倉內察看，發現有土質改良後造成之硬塊卡在刀首轉盤進土柵上，部分即以人力鑿碎清除。轉盤進土柵被硬塊堵塞，轉盤不停旋轉而土壤無法進入土倉，出土溫度曾有高達 62 度至 65 度之記錄。廠商曾試著加水及皂土液改善進土情形，但鑽進情形仍不良。再審視地表在 3 公尺左右深度範圍內有多種公共管線，如電力、電訊、自來水、瓦斯、排水系統，以及人孔或手孔等構造物，地層經人為擾動，回填土多不十分結實，所以先前廠商在路面上鋪築了 30 公分厚一層鋼筋混凝土面層，以利車輛在上面行駛；又在工作井東側不久前有連續壁等結構體施工，開挖時在垂直方向可能對土壤有解壓作用。

意外之發生在潛盾機衝破地質改良區（以下簡稱第一改良區），進入沈泥質砂區。第一天發現地面淺式沉陷計往下沉陷 15 公釐，因為沉陷量不大，繼續鑽進，第二天再觀測淺式沉陷計時，發現沉陷量為 28 公釐，因為地表有 30 公分厚鋼筋混凝土面層，底下情形不明，於是打除此項鋼筋混凝土層時發現已有範圍約 4×4 公尺，深 3 公尺之陷坑一處，再以級配砂石回填，維持地面平整。據廠商經驗，土壓平衡潛盾機，可在覆蓋層不厚的土層內鑽進，只要維持地層不塌陷或滑動。故仍繼續作隧道鑽進與環片安裝工作，地面續有若干沉陷，廠商再以級配砂石料回填。直至人員進入潛盾機壓縮空氣前端清除盾首轉盤上卡著的硬塊，因漏氣量漸增而不易維持土壓平衡，潛盾機方停止作業。

在此段時間，本局監造單位曾數度邀請相關工程人員調查，並與廠商研討補救措施。廠商決定在隧道出發第一段已改良地質區外，再增加第二區地層改良，獲得同意，即在衝破第一段已改良地質區外，再以灌漿固結作第二次地層補強，方法如下：

1. 在第二區作化學灌漿，主要使用水玻璃，改良後土層不要求高強度，而僅須使地層具水密性與氣密性，保持潛盾機有鑽進之方便，化學灌漿使用壓力為 5 至 $10\text{kg}/\text{c m}^2$ 。
2. 在潛盾機上方地層沉陷段作固結灌漿，主要使用水泥，灌入最大壓力為 $40\text{kg}/\text{c m}^2$ ，使地下形成一片厚 2.5 公尺的覆蓋層，故地面土壤不再向潛盾內流失。
3. 再在鄰近施工區發現漏氣或漏水地點，加作灌漿防漏。

上項灌漿補強工作共使用漿料 320 立方公尺，推算其土壤孔隙率約為 30%，地層經灌漿後地面最大上昇量為 8 公釐，即並不破壞既有地層之穩定。

在化學灌漿完成後，人員再進入潛盾機清除刀首轉盤上卡著的硬塊，並將轉盤上欄柵空間加大一倍，即將欄柵每間隔一條切除，孔距由 15 公分增大為 30 公分。自土倉前欄柵清除出來的雜物計有土塊、石塊、混凝土塊與流木樹幹等雜物。

(五) 成立土木第九工務所

本局於 CT201A/B 發包後，原係委託中興工程顧問社監造(C.M.C.)，迄民國八十一年九月，本局成立北區工程處土木第九工務所，將 CT201A 標委辦監造業務收回自辦，迄工程竣工並完成保固。

(六) 潛盾隧道貫通

八十一年十一月十七日淡水線 CT201A 標臺北車站至新公園站間上行隧道鑿通，此為捷運系統第一個貫通之潛盾隧道工程，八十二年五月八日全標隧道貫通，黃市長大洲親臨主持貫通典禮。（圖 10）



圖 10 CT201A 標隧道貫通典禮

(七) 第一個捷運工程潛盾機棄殼案例

由於CT201A標工程之隧道鏡面係由關連廠商CT201F標負責破鏡(圖11)，因此，CT201A標工程竣工時，將潛盾機盾殼留置隧道到達段內，隧道未破鏡之前，由台大醫院站之隧道無法通行至臺北車站內，以致CT201A標工程雖然是國內第一條完成的捷運潛盾隧道工程，但卻未舉行工程破鏡典禮。基於工程安全所需，CT201A標廠商於CT0201A標與CT201F標工程交界處之隧道鏡面進行地盤改良，由於德商瑞林股份有限公司本著嚴謹且務實之民族性進行工程施工，因此在進行地盤改良時，不惜以高出合約規定之強度進行地盤改良，雖然提高了工程安全性，但卻增加CT201F標廠商破鏡時之困難。

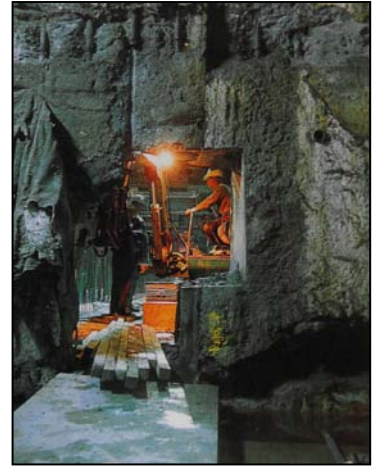


圖 11 CT201F 進行隧道破鏡

三、保存捷運第一台潛盾機文物及建議

CT201A標工程於83年3月24日竣工，為臺北捷運隧道工程史上留下第一頁珍貴的紀錄(圖12)，值得一提的是，本局北工處有一位女性工程師馬婉容，於土九所成立後一直參與這項工程，身材嬌小聲音甜美的她，工作毫不遜於男性工程師，其努力及成果深獲各級長官肯定，在臺灣隧道工程界缺少女性工程師的傳統下，別具特殊的意義；本工程所使用之潛盾機於完工後即拆解運離工地，經過重新整理組裝後，再次投身捷運建設，進行捷運板橋線CP264標之潛盾工程，現在，對於這台——臺北捷運的第一台潛盾機，只能由照片窺探原貌，但是，因為十多年前數位照像與數位檔案處理與保存技術尚未發展，對於CT201A標工程之珍貴資料未能極盡完善的予以保存，實在可惜。如今回顧，深感成立捷運博物館之重要與急迫性，尤其捷運建設日復一日的擴張路網，二十多年來從無到有、華路藍縷，匯集了無數的經驗與智慧，如果能藉由捷運博物館將相關文件、部品及模型等予以系統性的珍藏，不僅見證捷運建設的歷史，同時必將為捷運建設寫下新頁！



圖 12 CT201A 標隧道完成紀念合照

四、結語

臺北都會區捷運系統則自CT201A標工程開始迄今，大量應用單圓潛盾工法，相關施工技術已臻成熟，今(96)年5月開工的臺灣桃園國際機場聯外捷運系統三重到臺北段，將以潛盾隧道穿越淡水河河床進入臺北市，本局引進雙圓型DOT(Double-O-Tube)潛盾隧道取代傳統單圓潛盾隧道。此乃國內第一次採用的施工法，將是國內潛盾工程技術的重要指標，施工過程將於三重站南端沿堤防以高架配置，沿疏洪東路跨過中興橋，並且以大約5%的坡度進入地下，用潛盾隧道穿越忠孝橋下方進入臺北市區。規劃全線4公里長，大部分地下化設計，不影響沿線的都市景觀，預定民國102年臺北到三重段就可以完工。雙圓型DOT潛盾隧道具有：內空斷面減少(約4%)、棄土量減少、避免傳統雙孔單圓在河床下方施作連絡通道之風險、用地路幅較窄、對用地開發影響最小、穿越補償費用減少、以及緊急避難至相鄰隧道較容易等優點。惟因國內尚無類此經驗，施工精準度要求甚高，完全須仰賴國外技術支援，且因該路線線形之需求，緩和曲線與豎曲線皆同時存在，可能增加施工困難度。DOT潛盾隧道施工是一種新工法與新技術，其施工技術之引進及技術轉移，對於國內土木工程將開拓新視野，並締造新的里程碑。並祝福北區工程處(NDPO)DOT潛盾工法施工順利，為國內之潛盾隧道技術帶入另一個新的紀元。